

DER BAUINGENIEUR

ZEITSCHRIFT FÜR DAS GESAMTE BAUWESEN

HERAUSGEBER: PROFESSOR DR.-ING. F. SCHLEICHER / DORTMUND
MITHERAUSGEBER: PROFESSOR DR.-ING. A. MEHMEL / DARMSTADT

SPRINGER-VERLAG BERLIN / GÖTTINGEN / HEIDELBERG

30. JAHRGANG

MAI 1955

HEFT 5

Zur 52. Hauptversammlung
des Deutschen Beton-Vereins e. V.

27. und 28. April 1955 in Hamburg

PLASTIMENT-PLASTOCRETE

Im Verlauf von 18 Jahren wurden **11 Millionen Kubikmeter Beton** unter Verwendung unserer Betonzusätze hergestellt. Diesen Erfolg erzielten wir einzig und allein dadurch, daß unsere Fabrikate dem Beton eine andere, bessere Qualität geben. Selbstverständlich gewährleisten sie auch die arbeitsmäßigen Vorteile, wie bessere Verarbeitung, zuverlässige Pumpleistung, keine Entmischung.

Kennzeichen unserer Betonzusätze:

Gleichbleibende und zuverlässige Wirkung

PLASTIMENT G.m.b.H. KARLSRUHE

DER BAUINGENIEUR

berichtet über das gesamte Gebiet des Bauingenieurwesens (mit Ausnahme von Vermessungswesen, Verkehrstechnik, Wasserversorgung und Entwässerung der Siedlungen). Er bringt Aufsätze über Baustoffe, Theorie und Praxis der Ingenieurkonstruktionen, interessante Bauausführungen, Berichte über bemerkenswerte Veröffentlichungen des Auslandes, Normungsfragen und Tagungen, Buchbesprechungen. Originalbeiträge nehmen an die Herausgeber

Professor Dr.-Ing. F. Schleicher,
(21 b) Dortmund, Plauener Straße 44,

Professor Dr.-Ing. A. Mehmel,
(16) Darmstadt, Technische Hochschule.

Alle sonstigen Mitteilungen, Bücher, Zeitschriften usw. für die Schriftleitung werden erbeten an die Schriftleitung „DER BAUINGENIEUR“, Professor Dr.-Ing. F. Schleicher (21 b) Dortmund, Plauener Straße 44.

Für die Abfassung der Arbeiten sind die von den Herausgebern anzufordernden Richtlinien zu beachten. Für Formelgrößen usw. sollen soweit irgend möglich die genormten Bezeichnungen nach DIN 1350 und 1044 bzw. der BE. benutzt werden. Vorlagen für Abbildungen werden auf besonderen Blättern erbeten, Zeichnungen werden soweit erforderlich vom Verlag ausgeführt.

Nachdruck: Mit der Annahme des Manuskripts erwirbt der Verlag das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder. Im „Bauingenieur“ erscheinende Arbeiten dürfen vorher an anderer Stelle nicht veröffentlicht sein und auch später nicht anderweitig veröffentlicht werden.

Photographische Vervielfältigungen, Mikrofilme, Mikrophote von ganzen Heften, einzelnen Beiträgen oder Teilen daraus sind ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages nicht gestattet.

Erscheinungsweise: Monatlich.

Bezugspreis: Vierteljährlich DM 9,— (Einzelheft DM 3,50) zuzüglich Postgebühren. — Für Studierende ermäßigt sich der Bezugspreis auf DM 7,20 vierteljährlich zuzüglich Zustellgebühren. — Die Lieferung läuft weiter, wenn nicht 4 Wochen vor Vierteljahresschluß abbestellt wird. Der Bezugspreis ist im voraus zahlbar. — Bestellungen nimmt der Verlag und jede Buchhandlung, im Bundesgebiet auch jedes Postamt, entgegen.

Anzeigen nimmt die Anzeigen-Abteilung des Verlages (Berlin W 35, Reichpietschufer 20, Westberlin, Fernspr.: Sammelnummer 24 92 51) an. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

SPRINGER-VERLAG

Berlin W 35, Reichpietschufer 20,

Fernsprecher: Sammelnummer 24 92 51.

Heidelberg, Neuenheimer Landstraße 24,

Fernsprecher: 24 40.

Vertriebs-Vertretung im Ausland:

Lange, Maxwell & Springer, Ltd., 242 Marylebone Road,
London, N.W. 1.

**Frankipfahl-
Baugesellschaft
DÜSSELDORF**

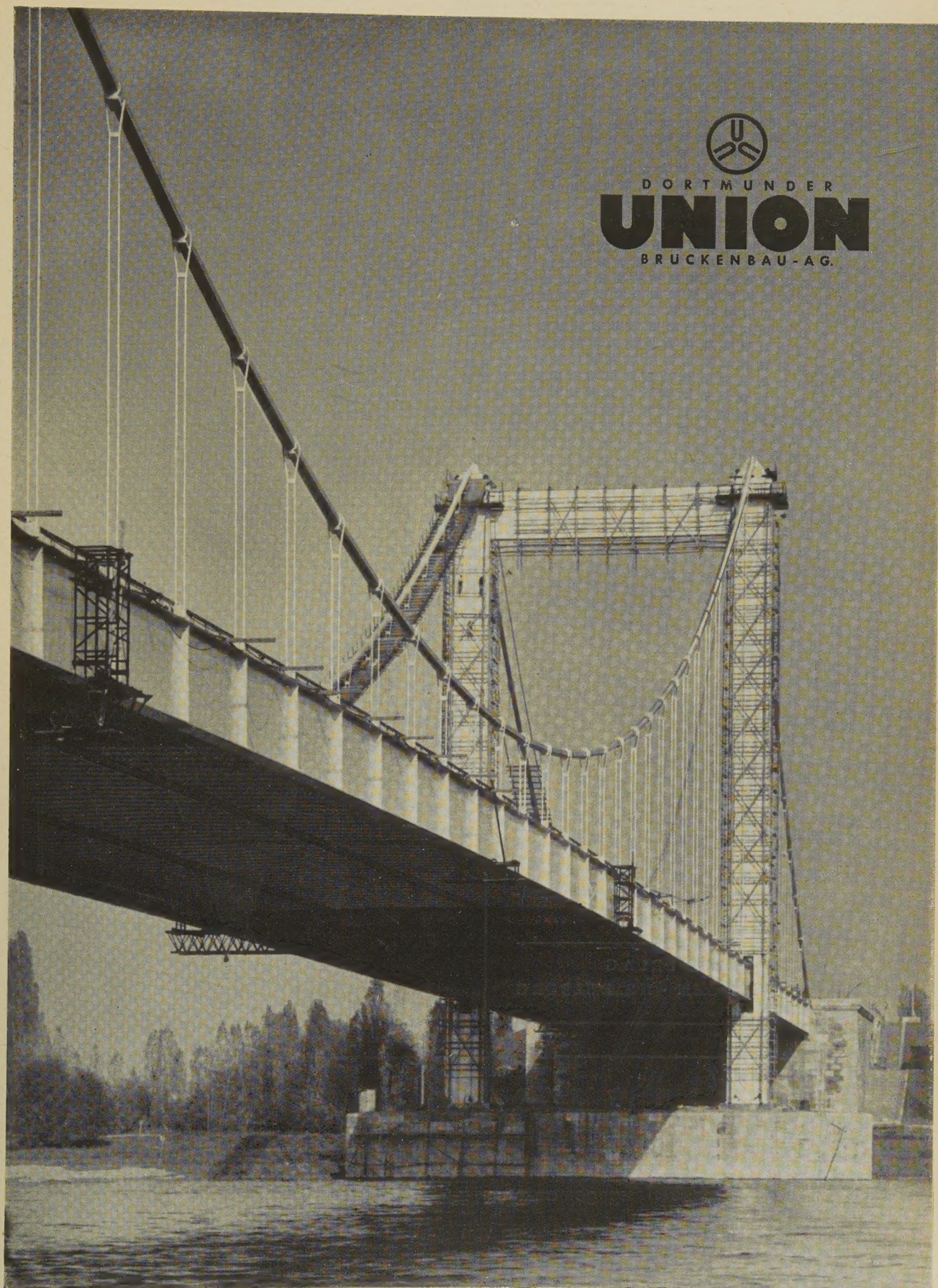
GOETHESTR. 73
FERNRUF: 60847

Zweigstelle Hamburg

Schwanenwik 33
Fernruf: 221218



**„
PFAHLGRÜNDUNGEN
UNTERFANGUNGEN
HEBUNGEN
von Bauwerken
durch Zementeinpressung**




DORTMUNDER
UNION
BRÜCKENBAU-AG.

Rheinbrücke Rodenkirchen / Wiederaufbau in Arbeitsgemeinschaft

PHILIPP HOLZMANN

AKTIENGESELLSCHAFT / FRANKFURT (MAIN)



HOCHBAU · TIEFBAU · SPANNBETON
ERDBAULABOR · BETONLABOR

Der Dammbau

Grundlagen und Geotechnik der Stau- und Verkehrsdämme

Von Dr.-Ing. **Karl Keil**, Professor für Ingenieur-geologie und Geotechnik an der Hochschule für Verkehrswesen, Dresden. Zweite, völlig neubearbeitete Auflage. Mit 600 Abbildungen. XVI, 581 Seiten Gr.-8°. 1954.

Ganzleinen DM 69,—

Der Dammbau, insbesondere von Stauanlagen, Deichen und Kanälen, hat in den letzten Jahrzehnten als Ergebnis der Fortschritte neuzeitlicher Geotechnik außerordentlich an Bedeutung gewonnen. Im vorliegenden Werk behandelt ein seit Jahrzehnten mit der Dammbaupraxis bestens vertrauter Fachmann alle Probleme gesicherter geotechnischer Bauweisen beim Dammbau. Die richtunggebenden zahlreichen Arbeiten des Verfassers auf dem Gebiete der Ingenieurgeologie und Geotechnik bieten die günstigsten Voraussetzungen einer eingehenden Stoffbehandlung. Dadurch wird dieses wichtigste geotechnische Gebiet, entsprechend seiner wachsenden Bedeutung, erstmalig in einem Handbuch der Praxis geboten, das zugleich eine empfindliche Lücke im Schrifttum schließt.

SPRINGER-VERLAG
BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

HICO

in jahrelangem Einsatz in allen Erdteilen bewährt

wirtschaftlich durch vielseitige Verwendbarkeit

Schalungsträger

Nur 2 Elemente für alle Stützweiten über 2,5 m

Norddeutsche Schrauben- u. Mutterwerke A.-G.

Abt. Baugeräte

Peine/Hannover

POLENSKY & ZÖLLNER



Hauptverwaltung FRANKFURT / Main
Niederlassungen an allen Hauptplätzen

Entwurf und Ausführung von

INGENIEURBAUTEN DES HOCH- UND TIEFBAUES
BETON- UND STAHLBETONBAU
SPANNBETON NACH EIGENEM VERFAHREN



BRÜCKEN

DEM LANDSCHAFTSBILD ANGEPAST
LEICHT UND ZUVERLÄSSIG
FORMSCHÖN GESTALTET
BIS INS DETAIL



**SIEGENER AKT.-GES.
GEISWEID / WESTF.**

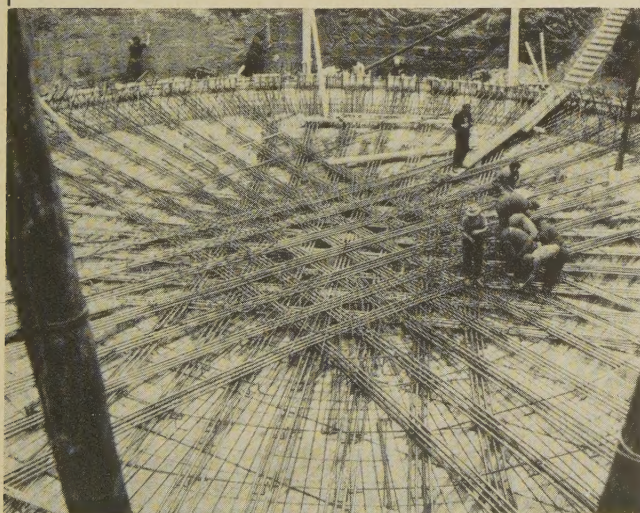
WAYSS & FREYTAG

A. G.

FRANKFURT A. M.

Neue Mainzer Straße 59

HOCH- UND TIEFBAU

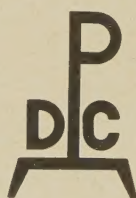


Vorgespannte Grundplatte des 210 m hohen Fernsehturmes Stuttgart
(168 m Stahlbetonschaft + 52 m Antennenmast) Gemeinschaftsarbeit

NIEDERLASSUNGEN

Berlin · Bremen · Düsseldorf · Essen · Frankfurt a. M. · Hamburg
Hannover · Karlsruhe · Kiel · Köln · Mannheim · München
Neustadt/Weinstr. · Nürnberg · Stuttgart

Schwierige Grundbauten



Druckluftgründungen

Pfahlgründungen

Baugrund-Untersuchungen

Dr.-Ing. **PAPROTH & CO.**

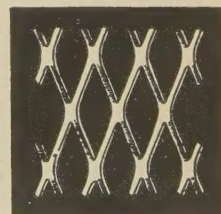
Krefeld — Berlin — Winsen-L.

Streckmetall

für Gitter und Beläge

für Bauzwecke

als Putzträger und Betoneinlage



SCHUCHTERMANN & KREMER-BAUM

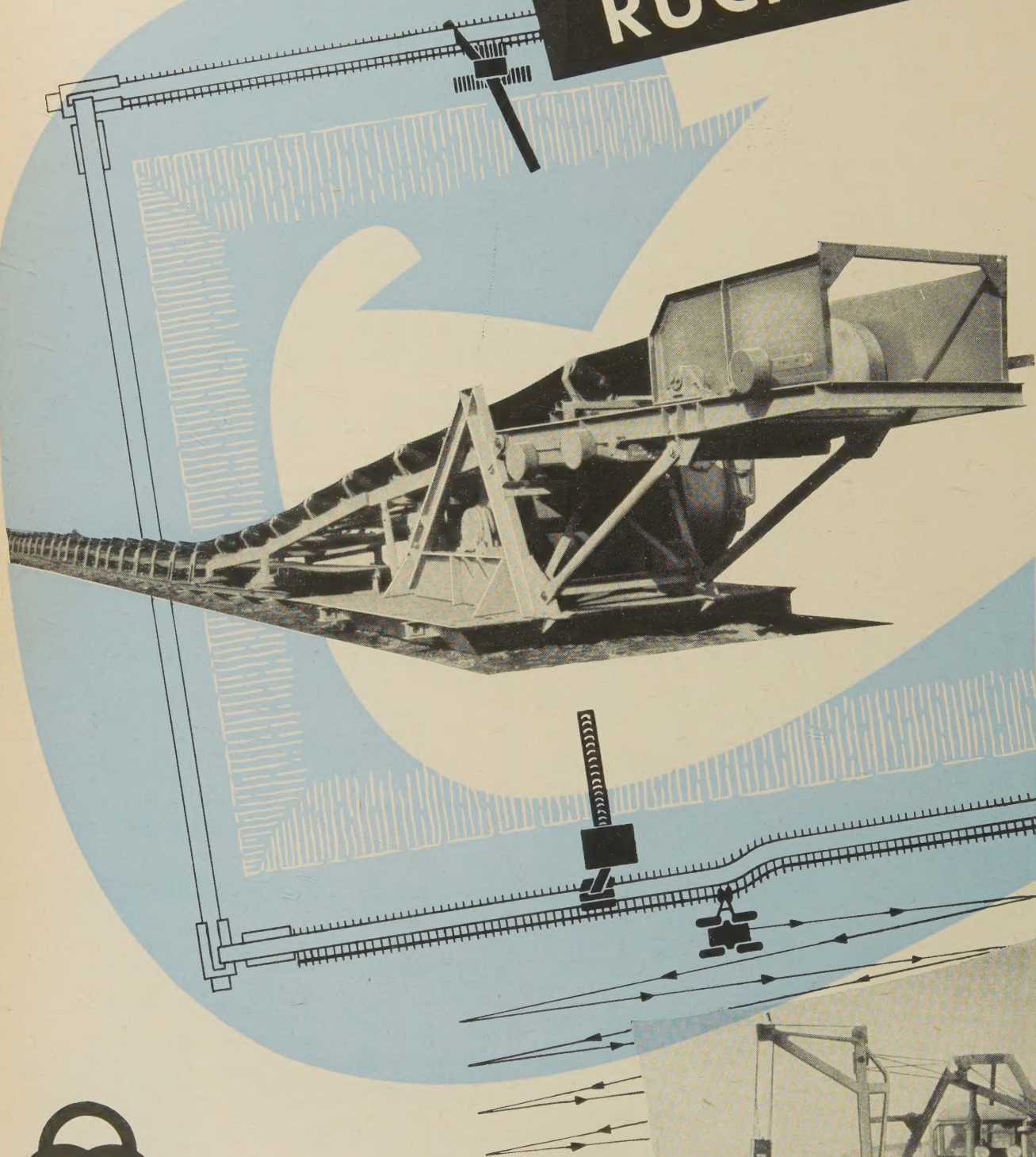
Aktiengesellschaft für Aufbereitung

DORTMUND · Telefon Sa.-Nr. 30651

BANDSTRASSEN

VERBINDEN GEWINNUNG MIT VERARBEITUNG ODER VERHALDUNG

RÜCKBAR



FRIED. KRUPP

MASCHINEN- UND STAHLBAU RHEINHAUSEN



Einige Kirchen mit Dachausbildungen in Schalenform.

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Kurt Hirschfeld, Aachen.

Vorweg eine kurze Betrachtung, die alle angeht, den Architekten, den Bauingenieur und nicht zuletzt den Bauherrn. Man hört und liest zuweilen vom Ringen des Architekten um einen neuen Baustil. Frage: Muß das sein, ergibt sich ein zeitgemäßer Stil nicht von selbst, wenn man die möglichen Formen, die einem Baustoff eigen sind, die er ohne Anstrengung hergibt, in die Gestaltung der Bauten einbezieht? Ich glaube, wir sind auf dem besten Wege, dieses Werden zu erleben.

Neue Bauformen, die sich besonders durch die Verwendung von Flächentragwerken herausgebildet haben, erfreuen sich immer größerer Beliebtheit. Schon seit einer ganzen Reihe von Jahren werden sie recht vielseitig und im wachsenden Maße bei Industriebauten, Bauten des Verkehrs, Ausstellungshallen und Repräsentationsbauten angewendet. Selbst beim Kirchenbau haben in der jüngsten Zeit die Flächentragwerke in Form von Schalen, Platten und Scheiben oder Kombinationen dieser Bauelemente Eingang gefunden.

Wenn auch manchmal die Gestaltung recht eigenwillig anmutet, so wird selbst der kritisch und konservativ eingestellte Betrachter die oftmals wohlthuende Harmonie zugeben müssen. Für den Architekten ist es geradezu ein Erlebnis, sich an der Wahl der zum Raum gefügten Flächenformen zu begeistern, zu erbauen. Selbstverständlich muß er gerade hier besonderes Feingefühl walten lassen, damit sich das Neue nicht als solches dem Betrachter aufdrängt und damit den wehevollen Rahmen des Sakralbaues verletzt oder gar den sakrosankten Charakter der kirchlichen Handlung gefährdet.

Im Gegensatz zu der leider oftmals geübten Art, zu sparen, wo nur gespart werden kann, sollte es oberster Grundsatz sein, die Wahrheit der Konstruktion zu zeigen, das Bild der stofflichen Eigenart zu erhalten, kurzum, die absolute Güte des Bauens anzustreben.

Die nachstehend aufgeführten beiden Kirchenbauten sind in meinem Büro statisch und konstruktiv bearbeitet worden.

1. Kirche St. Sebastian, Aachen, Auf der Hörn.

Der Grundriß dieser Kirche, aus dem Quadrat entwickelt, ist in Abb. 1 dargestellt. Durch die Anordnung eines auf zwei runden schlanken Mittelstützen ruhenden Stahlbetonträgers, teils als Vollwand- und teils als Fachwerkträger ausgebildet, entsteht der Eindruck einer Raumaufteilung in einen Altarraum und einen Raum für die Kirchenbesucher. Eine Betonung dieses Eindruckes wurde noch erreicht durch die Wahl ganz verschiedenartiger Kon-

struktionselemente für den oberen Raumabschluß. Eine in ihrer Längsrichtung durchlaufende Zylinderschale ist mit dem Obergurt des Trägers biegesteif verbunden, während in die der Schale abgekehrte Stegseite des Trägers die Stirnflächen eines wellblechartig geformten Stahlbetondaches münden (Abb. 2 b). Im folgenden sollen einige dieser Konstruktionen näher erläutert werden.

a) Tonnenschale.

Die Schale, als Kreiszyinderschale mit einer Dicke von $d = 6,5$ cm ausgebildet, überdeckt den Altarraum und die Sängerempore. Sie wird durch einen Radius von $a = 4,335$ m beschrieben und durch einen Öffnungswinkel von $\varphi = 55^\circ 40'$ eingeschlossen (Abb. 3). Der Schalensrand auf dem Fachwerkträger ist elastisch verschieblich ge-

lagert, der andere, auf dem Mauerwerk aufliegend, bildet eine starre Unterstützung. In der Längsrichtung läuft die Schale über zwei Felder ungleicher Stützweite durch, so daß der Endauflagerdruck des kleinen Feldes infolge der Kontinuität nahezu verschwindet. Eine Störung des zügigen Kräfteverlaufs wurde durch die über der Altarnische angeordnete Stichschale in die Hauptschale hineingetragen (Abb. 4). Durch die verschiedenartigen Auflagerbedingungen der Schale wurde die Rechnung sehr erschwert. Die Diffe-

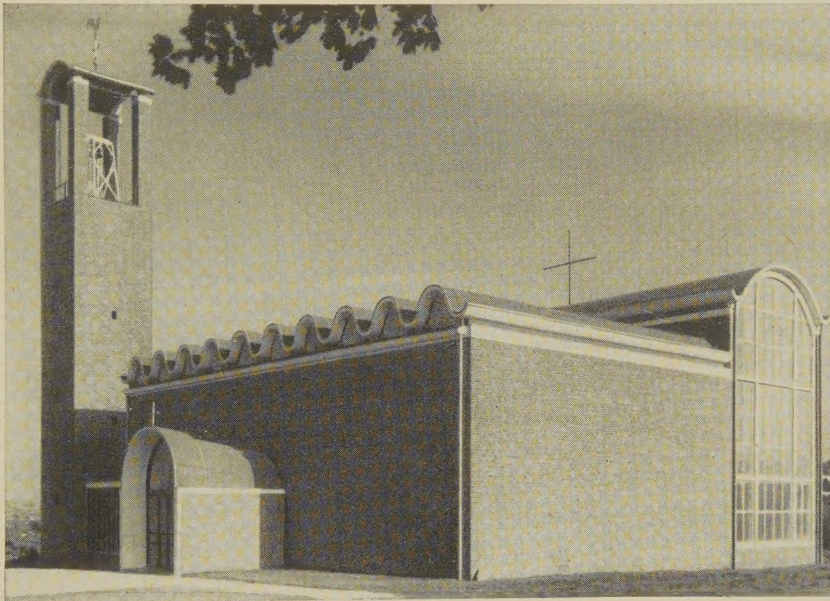


Abb. 1. Ansicht der Kirche.

rentialgleichung der Zylinderschale wurde aufgespalten in einen Teil, der die Membranolösung erfäßt, und einen zweiten Teil, der die durch die Randstörungen erzeugten Schnittkräfte beschreibt. Die Schnittkräfte wurden durch Überlagerung der beiden Teilzustände gefunden.

Wie in der Schalenrechnung üblich, wurden einige als untergeordnet zu bezeichnende Kräfte vernachlässigt, so daß nach Streichung nur die in dem differentialen Schnittelement des zweiten Bildpaares (Abb. 5, b β) eingetragenen Kräfte und Momente verblieben: in Längsrichtung N_x und $N_{\varphi x}$, in Querrichtung N_{φ} , Q_{φ} , M_{φ} , $N_{\varphi \varphi}$.

Außer dem Kräftegleichgewicht müssen auch die Verformungsbedingungen zwischen Schale und Rändern und Binderscheiben erfüllt sein. Um die Rechnung übersichtlicher zu gestalten, wurde nach F. Dischinger [1, 2] zunächst eine Einfeldschale mit $l = 22,40$ m untersucht, der Einfluß der Durchlaufwirkung wurde in einem besonderen Rechnungsgang erfäßt.

Die Auswertung der Formänderungsintegrale unter Benutzung der vorher ermittelten Zustandsflächen bereitete keine Schwierigkeiten. Für die Einfeldschale ergaben sich in der φ -Richtung an der Stelle $x = l/2$ die in Abb. 6 aufgetragenen Schnittkraftverteilungen.

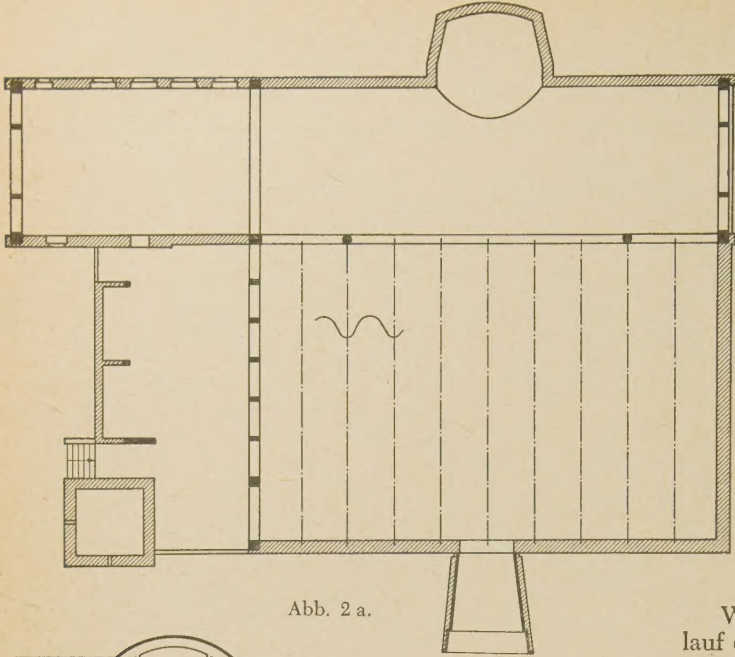


Abb. 2 a.

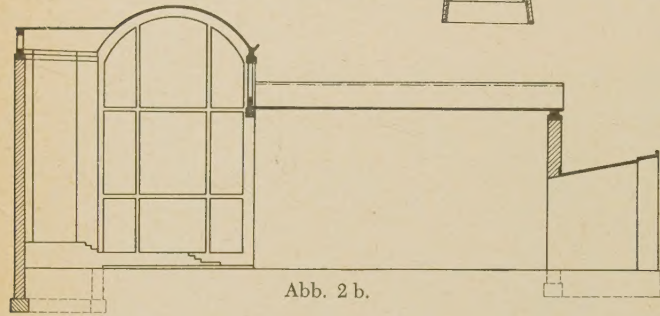


Abb. 2 b.

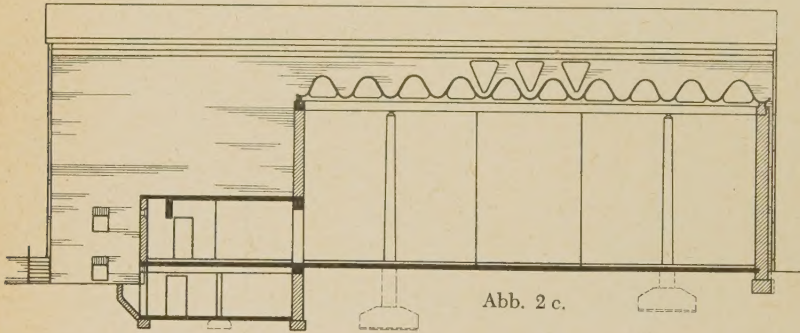


Abb. 2. a) Grundriß der Kirche; b) Querschnitt; c) Längsschnitt.

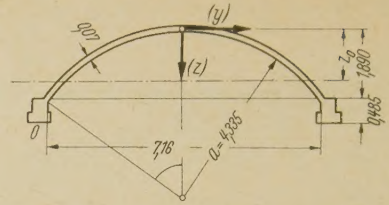
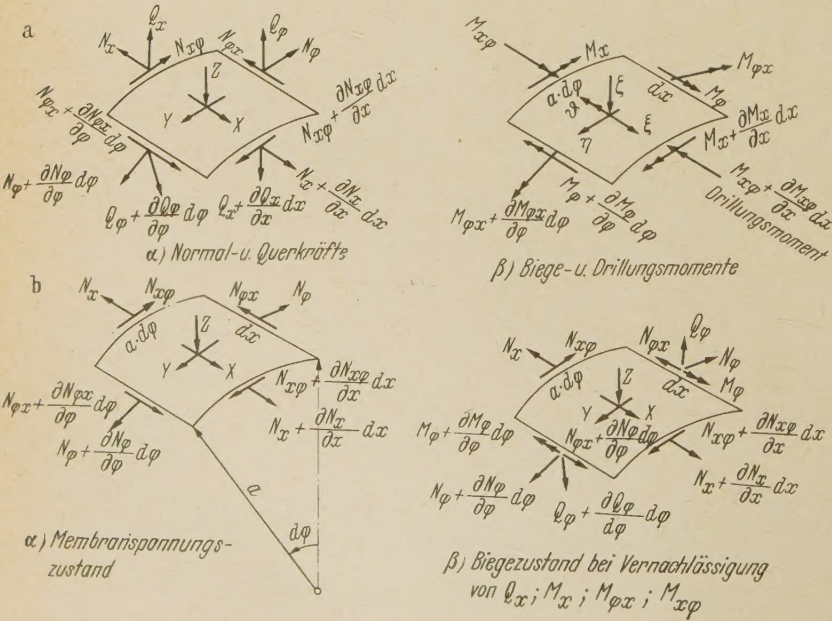


Abb. 3. Querschnitt der Kreiszylinderschale.

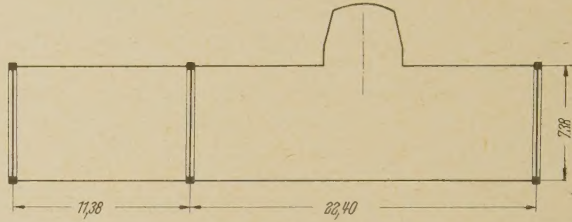


Abb. 4. Grundriß der Schale.

Wegen der getroffenen Voraussetzungen ist der Verlauf der Kräfte in der x -Richtung (Balkenrichtung) für

- N_x parabolisch entsprechend den Momenten,
- $\frac{\partial N_{\varphi x}}{\partial x}$ konstant entsprechend der Last,
- $N_{\varphi x}$ linear entsprechend der Querkraft,
- $\left. \begin{matrix} N_{\varphi} \\ M_{\varphi} \end{matrix} \right\}$ konstant.

In der durchlaufenden Schale stellt sich eine Verteilung der Balkenkräfte N_x und $N_{\varphi x}$ ein, wie sie aus der Abb. 7 zu ersehen ist.

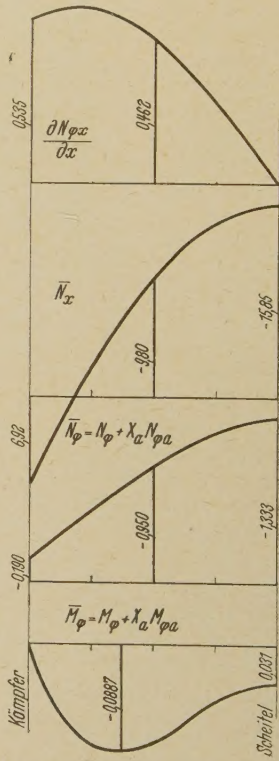


Abb. 6. Verlauf der Schalenkräfte in φ -Richtung in der Balkenmitte der Einfeldschale.

Abb. 5 (links nebenstehend). a) Kräfte am Schnittelement einer biegesteifen Schale; a) Normal- und Querkräfte, β) Biege- und Torsionsmomente; b) Kräfte am Schnittelement bei Vernachlässigung bzw. Unterdrückung untergeordneter Größen; a) Membranspannungszustand, β) Biegezustand.

$$N_x(x) = \mu_1 \bar{N}_x,$$

μ_1 = Verhältniszahl
bezogen auf $l^2/8 = 1$

$$\bar{N}_x = \frac{q_x}{q_x} N_x, \quad \bar{q}_x = q_x + X_a,$$

$$N_{\varphi x}(x) = \mu_2 \frac{l}{2} \frac{\partial \bar{N}_{\varphi x}}{\partial x},$$

μ_2 = Verhältniszahl
bezogen auf $l/2 = 1$,

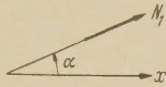
$$\frac{\partial \bar{N}_{\varphi x}}{\partial x} = \frac{\bar{q}_x}{q_x} \frac{\partial N_{\varphi x}}{\partial x}.$$

Die Rechnung wird zweckmäßig in Tafelform durchgeführt und liefert für die untersuchten Punkte die Richtungen und die Größen der Hauptzugkräfte gemäß

$$N_1 = \frac{N_x + N_{\varphi}}{2} + \left| \frac{N_x - N_{\varphi}}{2} \right| \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 2\alpha},$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 N_{\varphi x}}{N_x - N_{\varphi}}.$$

Abb. 8. Vorzeichenschema für die Hauptzugkräfte N_1 .



Mit den Werten läßt sich dann ohne weiteres die Trajektorienbewehrung (Abb. 9) zeichnen. Außer der Trajektorienbewehrung wurde noch die rechnerisch ermittelte Längs-, Biege- und Zerbewehrung eingelegt.

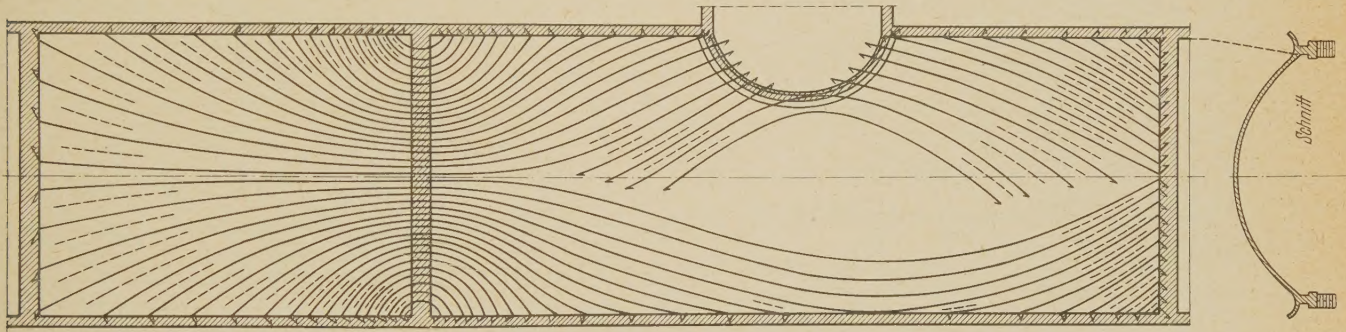


Abb. 9. Trajektorienbewehrung der Schale.

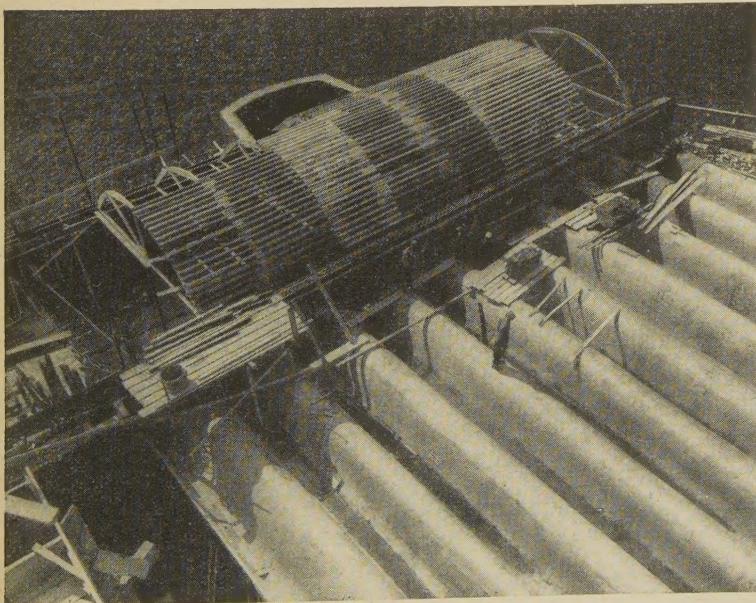


Abb. 10. Schrägdraufsicht auf das Wellendach.

b) Wellendach (Abb. 10).

Der Querschnitt ist mit einer veränderlichen Wandstärke ausgebildet, im Scheitel $d = 10$ cm und im Tiefpunkt des Wellentals $d = 7$ cm. Für die Belastung mußten noch das Gewicht für einen Gefällebeton und wegen möglicher Schneesackbildung ein erhöhtes Schneegewicht berücksichtigt werden.

Eine statische Untersuchung nach der Schalentheorie wäre sehr aufwendig gewesen und hätte zudem bei den vorliegenden geometrischen Verhältnissen nur einen sehr geringen Einfluß der günstigen Schalenwirkung gebracht. Es wurde daher eine Näherungsrechnung aufgezogen und für den gewählten ideellen Querschnitt F_i ein Spannungsnachweis durchgeführt.

Für die überspannte Fläche von $F = 14,82 \cdot 22,42 = 332,86$ m² betragen die Massen je m² Horizontalprojektion unter Beachtung teilweise doppelwandiger Schalung entsprechend der Abb. 11 für Beton 0,108 m³, Stahl 21 kg, Schalung 2,3 m².

Die Einschalarbeiten haben die anfänglich vermuteten arbeitstechnischen Schwierigkeiten erfreulicherweise nicht bestätigt. Es wurden Lehren aus 1/2zölligen maschinell geschnittenen Brettern gefertigt und in Abständen von 1,20 m auf ein von Spindeln getragenes Obergerüst aufgesetzt. Die Lehren wurden dann durch Latten 2 1/2 · 4 cm, die etwa in Abständen von 5 cm aufgenagelt waren,

miteinander verbunden. Als Baustoff für die eigentliche geschlossene Schallfläche wurden 4 mm starke Hartfaserplatten verwendet, die sich den Krümmungen der Wellenformen sehr gut anpassen ließen (Abb. 12).

Nach dem Ausschalen zeigte der durch Rütteln verdichtete Beton eine glatte Untersicht, die allerdings durch die Stoßstellen der Papptafeln gezeichnet war. Es möge daher darauf hingewiesen werden, daß durch geschickte Wahl der Fugenanordnung der Papptafeln die Betonansichtsfläche (hier Untersicht) eine Belebung in einer gewünschten Regelmäßigkeit erfahren kann.

c) Fachwerkträger.

Wie oftmals oder meistens in der Zusammenarbeit mit dem Architekten nehmen Dinge durch die naturgesetzlich gebundene Statik im Zusammenklang mit der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Laufe der Konstruktionsarbeit noch veränderte Formen an. So haben auch der Fachwerkträger und die Wellenformen des Daches sehr zu ihrem Vorteil eine Wandlung vom Entwurf bis zur Ausführung erfahren und in Anlehnung an das

Abb. 11.
Querschnitt durch eine Welle.

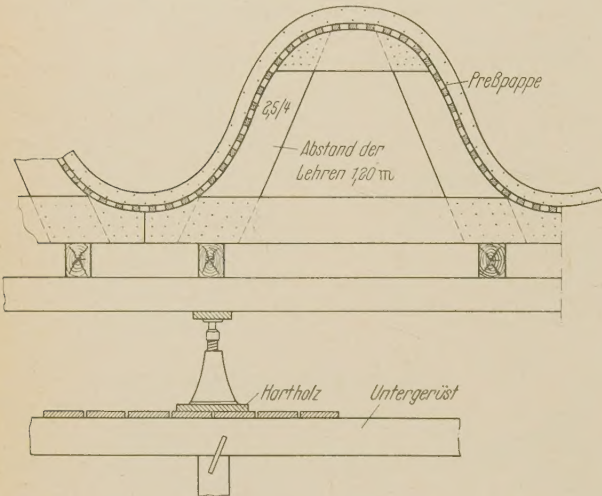
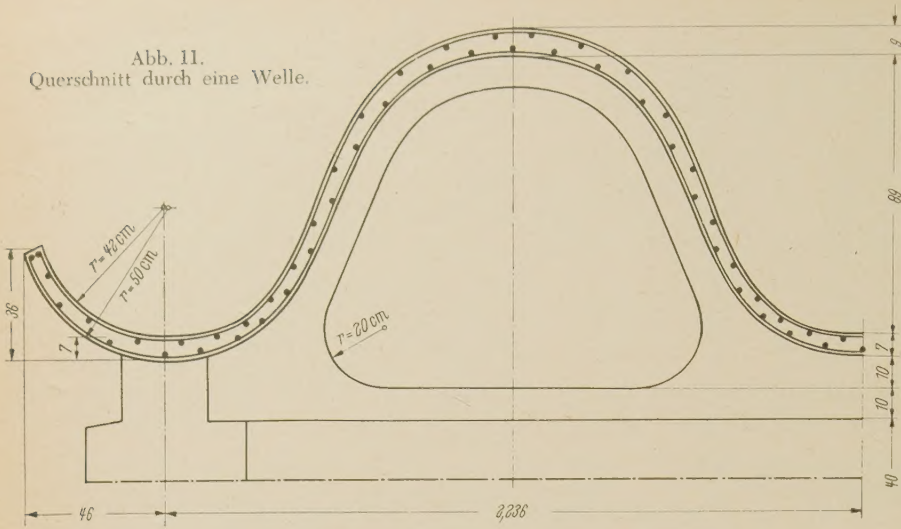


Abb. 12. Einschaltung einer Welle.

Bild des Kräfteflusses die in den verschiedenen Abbildungen wiedergegebene Form erhalten.

Der statischen Berechnung wurde als System ein über drei Felder durchlaufender Fachwerkträger zugrunde gelegt. Die Nebenspannungen infolge der biegesteifen Ausbildung der Knoten wurden mit Hilfe einiger nacheinander angewendeter, aber zweckmäßig zusammengestellter Rechenverfahren ermittelt. Durch Zeichnen eines Williotplanes ergaben sich die Knotenverschiebungen, mit denen unter Anwendung der Drehwinkelmethode die Stabendmomente ermittelt wurden. Zu guter Letzt lieferte ein iterativer Ausgleich mit den Differenzen der Knotenmomente die Momente für die Nebenspannungen. Dieses kombinierte Verfahren ist kurz und übersichtlich und gibt die Möglichkeit, beliebig genaue Ergebnisse zu errechnen.

Die statische Untersuchung erstreckte sich außer auf die allgemein auftretenden Lastfälle Gleichlast und Knotenlast auch auf den Einfluß der plastischen Formänderung

Kriechen und Schwinden, auf Temperatur, Torsion, ungleichmäßige Stützensenkung und Einfluß der Änderung der Stützenlänge aus elastischer und plastischer Verformung. Die errechneten Knotenmomente sind in die Systemskizze Abb. 13 eingetragen.

Zur Errechnung der Randstörungen der Schale mußten die Verschiebungen des Trägers bekannt sein. Es erschien zweckmäßig, für diese Formänderungsbetrachtung ein anderes statisches System zu wählen.

Wie aus der Abb. 14 hervorgeht, wurde der mittlere Teil im Mittelfeld des Trägerstranges als Fachwerkträger angesehen, die restlichen beiden links und rechts anschließenden Trägereile als Vollwandträger — allerdings unter Beachtung der Stegdurchbrechungen infolge der Fensteröffnungen — in die Rechnung eingeführt. Die Symmetrie des Systems gestattete, mit einer Unbekannten auszukommen, wofür die Normalkraft des ersten bzw. letzten Untergurtstabes gewählt wurde.

Eine saubere Zentrierung der Trägersauflager auf den Mittelstützen wurde durch die Anordnung von Stahlguß-

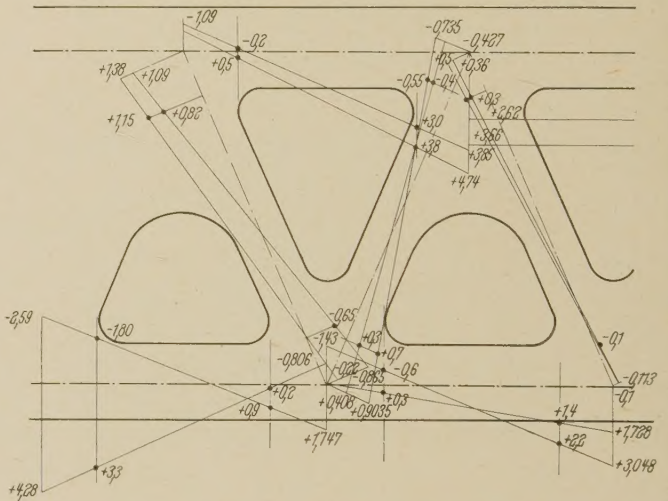


Abb. 13. Knotenmomente infolge der Nebenspannungen.

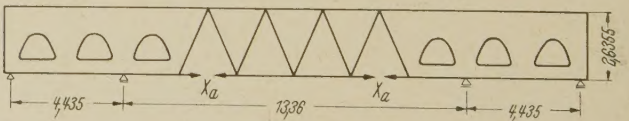


Abb. 14. Grundsystem des Hauptträgers zur Errechnung der Formänderungen.

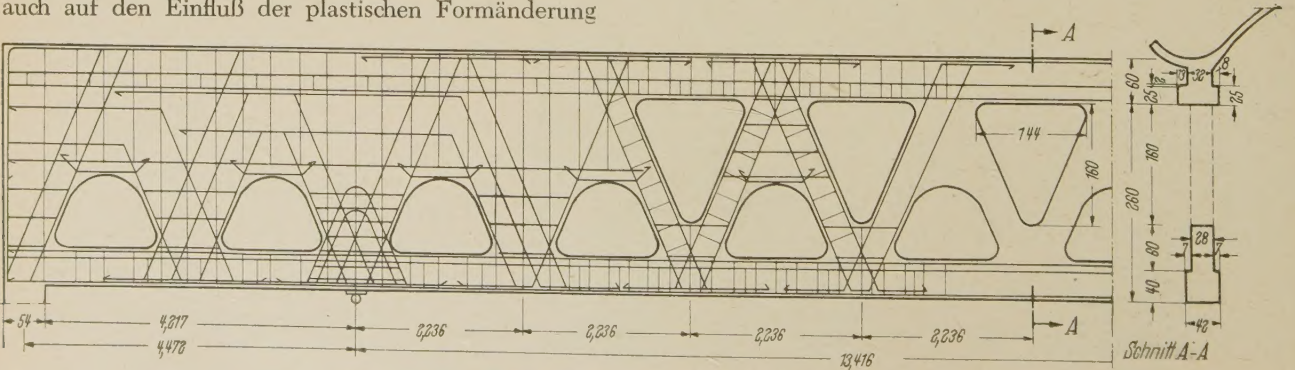


Abb. 15. Bewehrung des Hauptträgers.

gelenken auf den Stützenköpfen erreicht. Die Bewehrung des Trägers ist in Abb. 15 dargestellt.

d) Diagonalrost.

Einer der unter der Kirche gelegenen Räume wurde mit einem Diagonalrost abgedeckt (Abb. 16). In der Rechnung fanden die biegesteife Ausbildung der Knotenpunkte, die Drehsteifigkeit der Balken und der drehsteife Anschluß der Trägerscharen an den Randträgern Berücksichtigung. Es wurde angenommen, daß die Trägerschar II über der Schar I liegt (Abb. 17). Als Unbekannte sind in jedem Kreuzungspunkt zwei Momente (X, Y) und eine Vertikalkraft Z zu übertragen. Durch Ausnutzung der Symmetrie ließen sich die Unbekannten auf 8 Gruppenlasten ermäßigen.

Abb. 16.
Untersicht des Diagonalrosts.

1. $(Z_1 = Z_{13} = -Z_3 = -Z_{11}) \equiv X_a$
2. $(Z_4 = Z_{10} = -Z_5 = -Z_9) \equiv X_b$
3. $(-Y_6 = +Y_8 = +X_6 = -X_8) \equiv X_c$
4. $(-Y_2 = +Y_{12} = -X_2 = +X_{12}) \equiv X_d$
5. $(-Y_4 = -X_5 = +Y_{10} = +X_9) \equiv X_e$
6. $(-X_4 = -Y_5 = +Y_9 = +X_{10}) \equiv X_f$
7. $(-Y_1 = -X_3 = +Y_{13} = +X_{11}) \equiv X_g$
8. $(+X_1 = +Y_3 = -X_{13} = -Y_{11}) \equiv X_h$

Die sich damit ergebenden Zustandsflächen sind in der Abb. 18 dargestellt. Mit den ausgewerteten Formänderungsintegralen

$$EI \delta_{ik} = \int M_{bi} M_{bk} ds + k \int M_{di} M_{dk} ds,$$

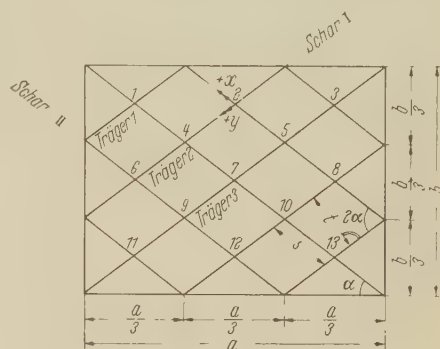


Abb. 17. Statisches System des Rostes.

wobei die Abkürzung

$$k = \frac{EI}{GI_D}$$

eingeführt wurde, ergibt sich das folgende δ -Raster.

Nach Einsetzen der Zahlenwerte und Auflösung der Gleichungen ergeben sich die in Abb. 19 eingetragenen

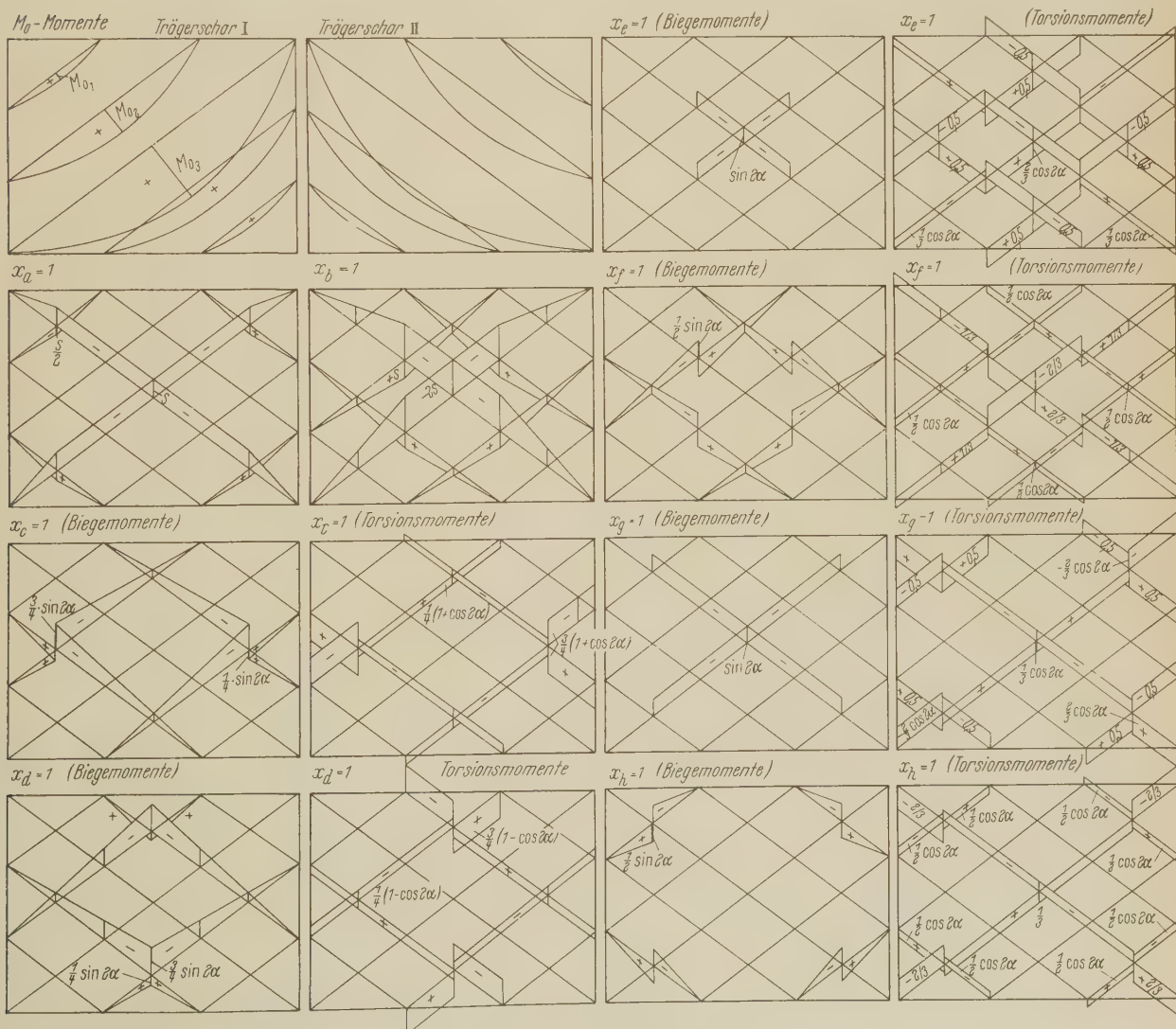


Abb. 18. Zustandsflächen.

Abb. 20. Querschnitt und Grundriß des Kreisfundaments.

$$M_{\varphi} = -\frac{D w_0}{l^2} \left\{ C_1 \left[\mu I_{02}(\xi) - (1-\mu) \frac{I_{11}^*(\xi)}{\xi} \right] - C_2 \left[\mu I_{01}(\xi) + (1-\mu) \frac{I_{12}^*(\xi)}{\xi} \right] + \right. \\ \left. + C_3 \left[\mu G_{02}(\xi) - (1-\mu) \frac{G_{11}^*(\xi)}{\xi} \right] - C_4 \left[\mu G_{01}(\xi) + (1-\mu) \frac{G_{12}^*(\xi)}{\xi} \right] \right\}; \\ Q_r = -\frac{D w_0}{l^3} \left[-C_1 I_{12}^*(\xi) + C_2 I_{11}^*(\xi) - C_3 G_{12}^*(\xi) + C_4 G_{11}^*(\xi) \right].$$

Darin bedeuten

$D = \frac{EI}{1-\mu^2}$ die Biegesteifigkeit der Platte ($\mu = \frac{1}{6}$ für den Beton),

I = Besselsche Zylinderfunktion

G = Graysche oder Hankelsche Zylinderfunktion vom Argument $r\sqrt{i}$

$$I_{11}^* = \frac{I_{11} - I_{12}}{\sqrt{2}} \quad \text{bzw.} \quad I_{12}^* = \frac{I_{11} + I_{12}}{\sqrt{2}};$$

$$G_{11}^* = \frac{G_{11} - G_{12}}{\sqrt{2}} \quad \text{bzw.} \quad G_{12}^* = \frac{G_{11} + G_{12}}{\sqrt{2}}.$$

Der erste Index zeigt jeweils die Ordnung an, der zweite den Real- oder Imaginärteil.

Mit den vorstehenden Gleichungen ergibt sich bei einer maximalen Bodenpressung von

$$\max \sigma = w_0 K = 0,07964 \cdot 24 = 1,9 \text{ kg/cm}^2$$

ein Radialmoment für $\xi = 0,12$ (Kante des Sockels),

$$M_r = 14,3 \text{ tm/m}$$

und ein Tangentialmoment für denselben ξ -Wert

$$M_{\varphi} = 21,4 \text{ tm/m}.$$

Die erforderliche Bewehrung zeigt Abb. 21.

2. Kirche Christ-König in Neuß.

a) Kuppel.

Als Besonderheit verdient die Überdachung des großen Kirchenraumes hervorgehoben zu werden. Es

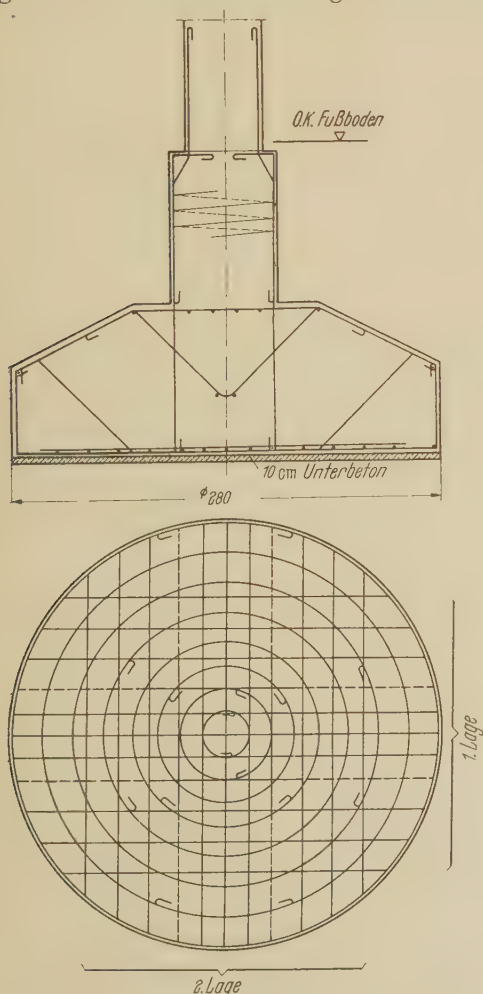


Abb. 21. Bewehrungsanordnung im Fundament.

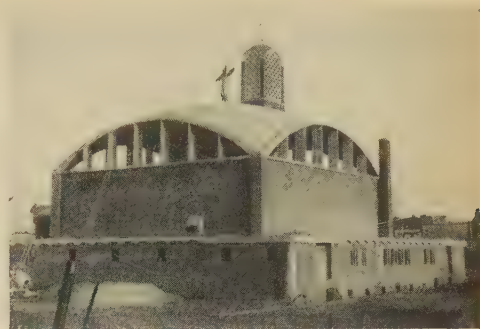


Abb. 21 a.

handelt sich um eine doppelt gekrümmte Schale, eine sogenannte Translationsschale. Man kann sie sich entstanden denken, indem aus einer Kugel ein im Grundriß quadratisch begrenztes Stück herausgestanzt wurde. Die Kuppel ruht auf vier Eckstützen und ist bei einem Radius von $R = 21,00 \text{ m}$ im Scheitel 7 cm dick. Wegen der im Randbereich auftretenden Biegespannungen wurde dort eine allmähliche Vergrößerung der Schalendicke vorgesehen. Die Lasten waren wie üblich anzusetzen, jedoch mußte im Scheitel noch eine Engelsfigur mit einem Gewicht von etwa 1 t berücksichtigt werden (Abb. 22).

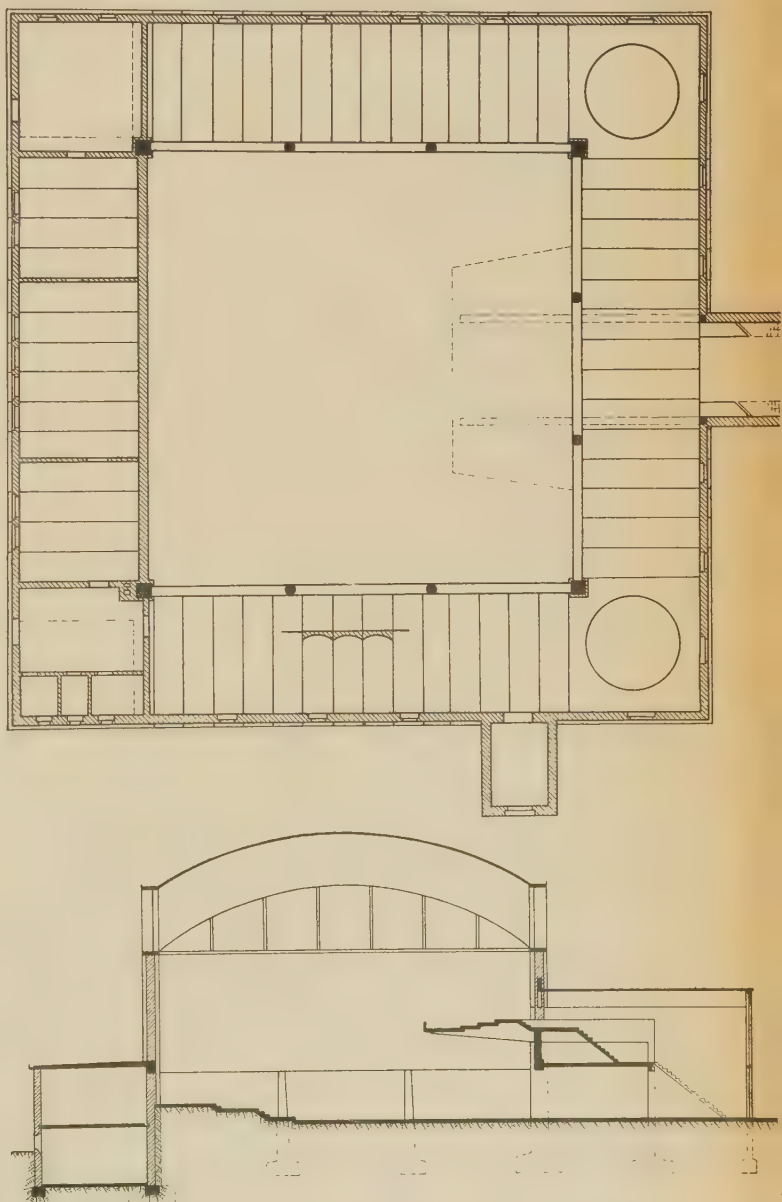


Abb. 22. Grundriß und Querschnitt der Kirche.

In derartigen Translationsschalen bildet sich im großen und ganzen ein reiner Membranspannungszustand aus. Lediglich an den Rändern entstehen zusätzliche von den Randgliedern aufzunehmende Schubkräfte (Abb. 23). Die dadurch gleichzeitig ausgelösten Momente klingen sehr schnell ab und sind demzufolge nur auf einen schmalen Randbereich beschränkt.

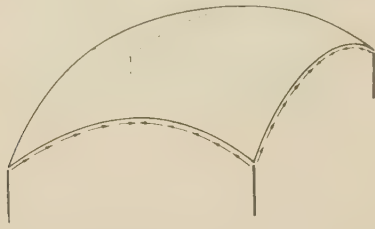


Abb. 23. Isometrische Darstellung der Kuppel mit der Schubkraftablösung.

Die statische Untersuchung kann daher in zwei Schritten durchgeführt werden: 1. Behandlung des Membranspannungszustandes und 2. Ermittlung des Biegeinflusses.

Für die Bestimmung der Dehnungskräfte wurde die Differenzenrechnung herangezogen und dafür der Grundriß

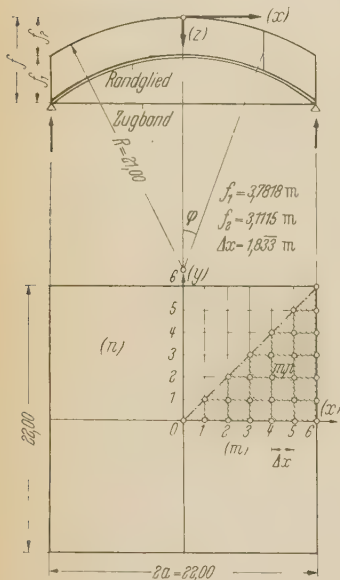


Abb. 24. Schnitt und Grundriß im Gitternetz.

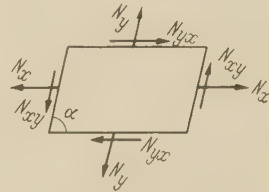


Abb. 25. Meridianschnitt mit eingetragener Belastung.

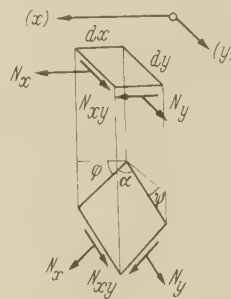


Abb. 26. Schiefwinkliges Flächenelement der Kugel als rechtwinklige Abbildung im Grundriß.

mit einem quadratmaschigen Gitternetz mit einer Maschenweite $\Delta x = \frac{a}{6}$ überzogen (Abb. 24).

Die Gleichung der Kugeloberfläche

$$z = R - \sqrt{R^2 - x^2 - y^2}$$

liefert in den ersten Ableitungen nach x und y die Tangentensteigungen

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{x}{R-z}, \\ \operatorname{tg} \psi &= \frac{\partial z}{\partial y} = \frac{y}{R-z}; \end{aligned} \right\}$$

die zweiten Ableitungen lauten

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} &= \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}{R-z}, \\ \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} &= \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \psi}{R-z}, \\ \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} &= \frac{\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \psi}{R-z}. \end{aligned} \right\}$$

Die Belastung der Schale besteht zum größten Teil aus Eigengewicht. Auf die Flächeneinheit der Horizontalprojektion bezogen wird nach Abb. 25

$$q_z = \frac{q_0}{\cos \varphi} \text{ oder, mit } \cos \varphi = \frac{R-z}{R},$$

$$q_z = q_0 \frac{R}{R-z}.$$

In Anlehnung an die Arbeiten von Pucher [5, 6] wurden die Spannungen in der Schale für ein schiefwinkliges Flächenelement auf der Kugel berechnet, wobei das Element jeweils so gewählt wurde, daß es sich in der Grundrißprojektion als Rechteck abbildet (Abb. 26).

Der von den Kanten des Elementes eingeschlossene Winkel α folgt aus geometrischen Überlegungen. Es ist

$$\cos \alpha = \frac{\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \psi}{\sqrt{(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)(1 + \operatorname{tg}^2 \psi)}} = \sin \varphi \sin \psi.$$

Die erforderlichen geometrischen Werte wurden für die einzelnen Netzpunkte bestimmt und in einer Tafel zusammengestellt. Nunmehr war die Spannungsfunktion zu ermitteln, daß sie der Differentialgleichung

$$\frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = -q_z$$

genügt. Durch Ersetzen der Differentialquotienten von F durch Differenzenquotienten läßt sich die vorstehende Gleichung in ein System von linearen Gleichungen umwandeln. Für einen Punkt m, n lautet dann die Differenzengleichung

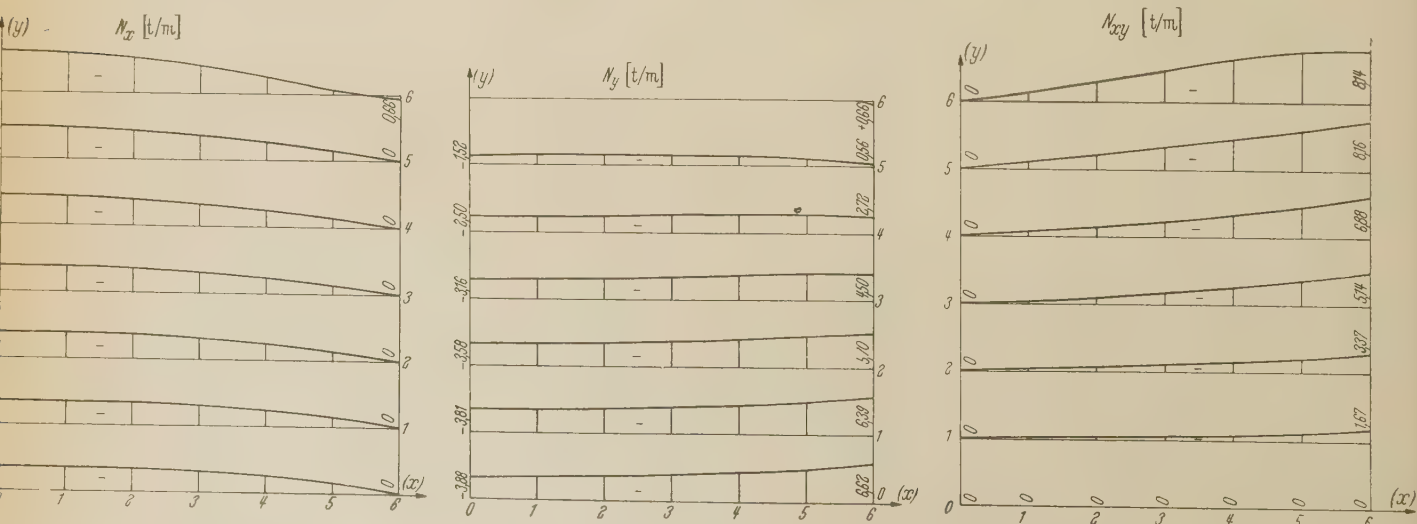


Abb. 27. Verlauf der Membrankräfte.

$$2 \left[\left(\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \right)_{m,n} + \left(\frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \right)_{m,n} \right] F_{m,n} - \left(\frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \right)_{m,n} (F_{m+1,n} + F_{m-1,n}) - \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \right)_{m,n} (F_{m,n+1} + F_{m,n-1}) + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \right)_{m,n} \cdot (F_{m+1,n+1} + F_{m+1,n-1} - F_{m-1,n+1} + F_{m-1,n-1}) = Z_{m,n} (\Delta x)^2.$$

Am Rande wird, wie schon bemerkt, die Schale durch Schubkräfte getragen, so daß die Randwerte $F_R = 0$ gesetzt werden können. Von Vorteil ist, daß sowohl die x -Achse wie auch die Diagonale für die $F_{m,n}$ Symmetriachsen sind.

Mit der Differenzengleichung ergibt sich das folgende allgemeine Gleichungssystem

Die Schnittkräfte für einen inneren Netzknoten m, n folgen aus den Differenzenquotienten

$$\Re_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = \frac{1}{\Delta x^2} (F_{m,n-1} - 2F_{m,n} + F_{m,n+1}),$$

$$N_x = \Re_x \frac{\cos \psi}{\cos \varphi};$$

$$\Re_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = \frac{1}{\Delta x^2} (F_{m-1,n} - 2F_{m,n} + F_{m+1,n}),$$

$$N_y = \Re_y \frac{\cos \varphi}{\cos \psi};$$

Gleichungssystem, allgemein

m	n	$F_{0,0}$	$F_{1,0}$	$F_{2,0}$	$F_{3,0}$	$F_{4,0}$	$F_{5,0}$	$F_{6,0}$	$F_{7,0}$	$F_{8,0}$	$F_{9,0}$	$F_{10,0}$	$F_{11,0}$	$F_{12,0}$	$F_{13,0}$	$F_{14,0}$	$F_{15,0}$	$F_{16,0}$	$F_{17,0}$	$F_{18,0}$	$F_{19,0}$	$F_{20,0}$	$F_{21,0}$	$F_{22,0}$	$F_{23,0}$	$F_{24,0}$	$F_{25,0}$	$F_{26,0}$	$F_{27,0}$	$F_{28,0}$	$F_{29,0}$	$F_{30,0}$	$F_{31,0}$	$F_{32,0}$	$F_{33,0}$	$F_{34,0}$	$F_{35,0}$	$F_{36,0}$	$F_{37,0}$	$F_{38,0}$	$F_{39,0}$	$F_{40,0}$	$F_{41,0}$	$F_{42,0}$	$F_{43,0}$	$F_{44,0}$	$F_{45,0}$	$F_{46,0}$	$F_{47,0}$	$F_{48,0}$	$F_{49,0}$	$F_{50,0}$	$F_{51,0}$	$F_{52,0}$	$F_{53,0}$	$F_{54,0}$	$F_{55,0}$	$F_{56,0}$	$F_{57,0}$	$F_{58,0}$	$F_{59,0}$	$F_{60,0}$	$F_{61,0}$	$F_{62,0}$	$F_{63,0}$	$F_{64,0}$	$F_{65,0}$	$F_{66,0}$	$F_{67,0}$	$F_{68,0}$	$F_{69,0}$	$F_{70,0}$	$F_{71,0}$	$F_{72,0}$	$F_{73,0}$	$F_{74,0}$	$F_{75,0}$	$F_{76,0}$	$F_{77,0}$	$F_{78,0}$	$F_{79,0}$	$F_{80,0}$	$F_{81,0}$	$F_{82,0}$	$F_{83,0}$	$F_{84,0}$	$F_{85,0}$	$F_{86,0}$	$F_{87,0}$	$F_{88,0}$	$F_{89,0}$	$F_{90,0}$	$F_{91,0}$	$F_{92,0}$	$F_{93,0}$	$F_{94,0}$	$F_{95,0}$	$F_{96,0}$	$F_{97,0}$	$F_{98,0}$	$F_{99,0}$	$F_{100,0}$	$F_{101,0}$	$F_{102,0}$	$F_{103,0}$	$F_{104,0}$	$F_{105,0}$	$F_{106,0}$	$F_{107,0}$	$F_{108,0}$	$F_{109,0}$	$F_{110,0}$	$F_{111,0}$	$F_{112,0}$	$F_{113,0}$	$F_{114,0}$	$F_{115,0}$	$F_{116,0}$	$F_{117,0}$	$F_{118,0}$	$F_{119,0}$	$F_{120,0}$	$F_{121,0}$	$F_{122,0}$	$F_{123,0}$	$F_{124,0}$	$F_{125,0}$	$F_{126,0}$	$F_{127,0}$	$F_{128,0}$	$F_{129,0}$	$F_{130,0}$	$F_{131,0}$	$F_{132,0}$	$F_{133,0}$	$F_{134,0}$	$F_{135,0}$	$F_{136,0}$	$F_{137,0}$	$F_{138,0}$	$F_{139,0}$	$F_{140,0}$	$F_{141,0}$	$F_{142,0}$	$F_{143,0}$	$F_{144,0}$	$F_{145,0}$	$F_{146,0}$	$F_{147,0}$	$F_{148,0}$	$F_{149,0}$	$F_{150,0}$	$F_{151,0}$	$F_{152,0}$	$F_{153,0}$	$F_{154,0}$	$F_{155,0}$	$F_{156,0}$	$F_{157,0}$	$F_{158,0}$	$F_{159,0}$	$F_{160,0}$	$F_{161,0}$	$F_{162,0}$	$F_{163,0}$	$F_{164,0}$	$F_{165,0}$	$F_{166,0}$	$F_{167,0}$	$F_{168,0}$	$F_{169,0}$	$F_{170,0}$	$F_{171,0}$	$F_{172,0}$	$F_{173,0}$	$F_{174,0}$	$F_{175,0}$	$F_{176,0}$	$F_{177,0}$	$F_{178,0}$	$F_{179,0}$	$F_{180,0}$	$F_{181,0}$	$F_{182,0}$	$F_{183,0}$	$F_{184,0}$	$F_{185,0}$	$F_{186,0}$	$F_{187,0}$	$F_{188,0}$	$F_{189,0}$	$F_{190,0}$	$F_{191,0}$	$F_{192,0}$	$F_{193,0}$	$F_{194,0}$	$F_{195,0}$	$F_{196,0}$	$F_{197,0}$	$F_{198,0}$	$F_{199,0}$	$F_{200,0}$	$F_{201,0}$	$F_{202,0}$	$F_{203,0}$	$F_{204,0}$	$F_{205,0}$	$F_{206,0}$	$F_{207,0}$	$F_{208,0}$	$F_{209,0}$	$F_{210,0}$	$F_{211,0}$	$F_{212,0}$	$F_{213,0}$	$F_{214,0}$	$F_{215,0}$	$F_{216,0}$	$F_{217,0}$	$F_{218,0}$	$F_{219,0}$	$F_{220,0}$	$F_{221,0}$	$F_{222,0}$	$F_{223,0}$	$F_{224,0}$	$F_{225,0}$	$F_{226,0}$	$F_{227,0}$	$F_{228,0}$	$F_{229,0}$	$F_{230,0}$	$F_{231,0}$	$F_{232,0}$	$F_{233,0}$	$F_{234,0}$	$F_{235,0}$	$F_{236,0}$	$F_{237,0}$	$F_{238,0}$	$F_{239,0}$	$F_{240,0}$	$F_{241,0}$	$F_{242,0}$	$F_{243,0}$	$F_{244,0}$	$F_{245,0}$	$F_{246,0}$	$F_{247,0}$	$F_{248,0}$	$F_{249,0}$	$F_{250,0}$	$F_{251,0}$	$F_{252,0}$	$F_{253,0}$	$F_{254,0}$	$F_{255,0}$	$F_{256,0}$	$F_{257,0}$	$F_{258,0}$	$F_{259,0}$	$F_{260,0}$	$F_{261,0}$	$F_{262,0}$	$F_{263,0}$	$F_{264,0}$	$F_{265,0}$	$F_{266,0}$	$F_{267,0}$	$F_{268,0}$	$F_{269,0}$	$F_{270,0}$	$F_{271,0}$	$F_{272,0}$	$F_{273,0}$	$F_{274,0}$	$F_{275,0}$	$F_{276,0}$	$F_{277,0}$	$F_{278,0}$	$F_{279,0}$	$F_{280,0}$	$F_{281,0}$	$F_{282,0}$	$F_{283,0}$	$F_{284,0}$	$F_{285,0}$	$F_{286,0}$	$F_{287,0}$	$F_{288,0}$	$F_{289,0}$	$F_{290,0}$	$F_{291,0}$	$F_{292,0}$	$F_{293,0}$	$F_{294,0}$	$F_{295,0}$	$F_{296,0}$	$F_{297,0}$	$F_{298,0}$	$F_{299,0}$	$F_{300,0}$	$F_{301,0}$	$F_{302,0}$	$F_{303,0}$	$F_{304,0}$	$F_{305,0}$	$F_{306,0}$	$F_{307,0}$	$F_{308,0}$	$F_{309,0}$	$F_{310,0}$	$F_{311,0}$	$F_{312,0}$	$F_{313,0}$	$F_{314,0}$	$F_{315,0}$	$F_{316,0}$	$F_{317,0}$	$F_{318,0}$	$F_{319,0}$	$F_{320,0}$	$F_{321,0}$	$F_{322,0}$	$F_{323,0}$	$F_{324,0}$	$F_{325,0}$	$F_{326,0}$	$F_{327,0}$	$F_{328,0}$	$F_{329,0}$	$F_{330,0}$	$F_{331,0}$	$F_{332,0}$	$F_{333,0}$	$F_{334,0}$	$F_{335,0}$	$F_{336,0}$	$F_{337,0}$	$F_{338,0}$	$F_{339,0}$	$F_{340,0}$	$F_{341,0}$	$F_{342,0}$	$F_{343,0}$	$F_{344,0}$	$F_{345,0}$	$F_{346,0}$	$F_{347,0}$	$F_{348,0}$	$F_{349,0}$	$F_{350,0}$	$F_{351,0}$	$F_{352,0}$	$F_{353,0}$	$F_{354,0}$	$F_{355,0}$	$F_{356,0}$	$F_{357,0}$	$F_{358,0}$	$F_{359,0}$	$F_{360,0}$	$F_{361,0}$	$F_{362,0}$	$F_{363,0}$	$F_{364,0}$	$F_{365,0}$	$F_{366,0}$	$F_{367,0}$	$F_{368,0}$	$F_{369,0}$	$F_{370,0}$	$F_{371,0}$	$F_{372,0}$	$F_{373,0}$	$F_{374,0}$	$F_{375,0}$	$F_{376,0}$	$F_{377,0}$	$F_{378,0}$	$F_{379,0}$	$F_{380,0}$	$F_{381,0}$	$F_{382,0}$	$F_{383,0}$	$F_{384,0}$	$F_{385,0}$	$F_{386,0}$	$F_{387,0}$	$F_{388,0}$	$F_{389,0}$	$F_{390,0}$	$F_{391,0}$	$F_{392,0}$	$F_{393,0}$	$F_{394,0}$	$F_{395,0}$	$F_{396,0}$	$F_{397,0}$	$F_{398,0}$	$F_{399,0}$	$F_{400,0}$	$F_{401,0}$	$F_{402,0}$	$F_{403,0}$	$F_{404,0}$	$F_{405,0}$	$F_{406,0}$	$F_{407,0}$	$F_{408,0}$	$F_{409,0}$	$F_{410,0}$	$F_{411,0}$	$F_{412,0}$	$F_{413,0}$	$F_{414,0}$	$F_{415,0}$	$F_{416,0}$	$F_{417,0}$	$F_{418,0}$	$F_{419,0}$	$F_{420,0}$	$F_{421,0}$	$F_{422,0}$	$F_{423,0}$	$F_{424,0}$	$F_{425,0}$	$F_{426,0}$	$F_{427,0}$	$F_{428,0}$	$F_{429,0}$	$F_{430,0}$	$F_{431,0}$	$F_{432,0}$	$F_{433,0}$	$F_{434,0}$	$F_{435,0}$	$F_{436,0}$	$F_{437,0}$	$F_{438,0}$	$F_{439,0}$	$F_{440,0}$	$F_{441,0}$	$F_{442,0}$	$F_{443,0}$	$F_{444,0}$	$F_{445,0}$	$F_{446,0}$	$F_{447,0}$	$F_{448,0}$	$F_{449,0}$	$F_{450,0}$	$F_{451,0}$	$F_{452,0}$	$F_{453,0}$	$F_{454,0}$	$F_{455,0}$	$F_{456,0}$	$F_{457,0}$	$F_{458,0}$	$F_{459,0}$	$F_{460,0}$	$F_{461,0}$	$F_{462,0}$	$F_{463,0}$	$F_{464,0}$	$F_{465,0}$	$F_{466,0}$	$F_{467,0}$	$F_{468,0}$	$F_{469,0}$	$F_{470,0}$	$F_{471,0}$	$F_{472,0}$	$F_{473,0}$	$F_{474,0}$	$F_{475,0}$	$F_{476,0}$	$F_{477,0}$	$F_{478,0}$	$F_{479,0}$	$F_{480,0}$	$F_{481,0}$	$F_{482,0}$	$F_{483,0}$	$F_{484,0}$	$F_{485,0}$	$F_{486,0}$	$F_{487,0}$	$F_{488,0}$	$F_{489,0}$	$F_{490,0}$	$F_{491,0}$	$F_{492,0}$	$F_{493,0}$	$F_{494,0}$	$F_{495,0}$	$F_{496,0}$	$F_{497,0}$	$F_{498,0}$	$F_{499,0}$	$F_{500,0}$	$F_{501,0}$	$F_{502,0}$	$F_{503,0}$	$F_{504,0}$	$F_{505,0}$	$F_{506,0}$	$F_{507,0}$	$F_{508,0}$	$F_{509,0}$	$F_{510,0}$	$F_{511,0}$	$F_{512,0}$	$F_{513,0}$	$F_{514,0}$	$F_{515,0}$	$F_{516,0}$	$F_{517,0}$	$F_{518,0}$	$F_{519,0}$	$F_{520,0}$	$F_{521,0}$	$F_{522,0}$	$F_{523,0}$	$F_{524,0}$	$F_{525,0}$	$F_{526,0}$	$F_{527,0}$	$F_{528,0}$	$F_{529,0}$	$F_{530,0}$	$F_{531,0}$	$F_{532,0}$	$F_{533,0}$	$F_{534,0}$	$F_{535,0}$	$F_{536,0}$	$F_{537,0}$	$F_{538,0}$	$F_{539,0}$	$F_{540,0}$	$F_{541,0}$	$F_{542,0}$	$F_{543,0}$	$F_{544,0}$	$F_{545,0}$	$F_{546,0}$	$F_{547,0}$	$F_{548,0}$	$F_{549,0}$	$F_{550,0}$	$F_{551,0}$	$F_{552,0}$	$F_{553,0}$	$F_{554,0}$	$F_{555,0}$	$F_{556,0}$	$F_{557,0}$	$F_{558,0}$	$F_{559,0}$	$F_{560,0}$	$F_{561,0}$	$F_{562,0}$	$F_{563,0}$	$F_{564,0}$	$F_{565,0}$	$F_{566,0}$	$F_{567,0}$	$F_{568,0}$	$F_{569,0}$	$F_{570,0}$	$F_{571,0}$	$F_{572,0}$	$F_{573,0}$	$F_{574,0}$	$F_{575,0}$	$F_{576,0}$	$F_{577,0}$	$F_{578,0}$	$F_{579,0}$	$F_{580,0}$	$F_{581,0}$	$F_{582,0}$	$F_{583,0}$	$F_{584,0}$	$F_{585,0}$	$F_{586,0}$	$F_{587,0}$	$F_{588,0}$	$F_{589,0}$	$F_{590,0}$	$F_{591,0}$	$F_{592,0}$	$F_{593,0}$	$F_{594,0}$	$F_{595,0}$	$F_{596,0}$	$F_{597,0}$	$F_{598,0}$	$F_{599,0}$	$F_{600,0}$	$F_{601,0}$	$F_{602,0}$	$F_{603,0}$	$F_{604,0}$	$F_{605,0}$	$F_{606,0}$	$F_{607,0}$	$F_{608,0}$	$F_{609,0}$	$F_{610,0}$	$F_{611,0}$	$F_{612,0}$	$F_{613,0}$	$F_{614,0}$	$F_{615,0}$	$F_{616,0}$	$F_{617,0}$	$F_{618,0}$	$F_{619,0}$	$F_{620,0}$	$F_{621,0}$	$F_{622,0}$	$F_{623,0}$	$F_{624,0}$	$F_{625,0}$	$F_{626,0}$	$F_{627,0}$	$F_{628,0}$	$F_{629,0}$	$F_{630,0}$	$F_{631,0}$	$F_{632,0}$	$F_{633,0}$	$F_{634,0}$	$F_{635,0}$	$F_{636,0}$	$F_{637,0}$	$F_{638,0}$	$F_{639,0}$	$F_{640,0}$	$F_{641,0}$	$F_{642,0}$	$F_{643,0}$	$F_{644,0}$	$F_{645,0}$	$F_{646,0}$	$F_{647,0}$	$F_{648,0}$	$F_{649,0}$	$F_{650,0}$	$F_{651,0}$	$F_{652,0}$	$F_{653,0}$	$F_{654,0}$	$F_{655,0}$	$F_{656,0}$	$F_{657,0}$	$F_{658,0}$	$F_{659,0}$	$F_{660,0}$	$F_{661,0}$	$F_{662,0}$	$F_{663,0}$	$F_{664,0}$	$F_{665,0}$	$F_{666,0}$	$F_{667,0}$	$F_{668,0}$	$F_{669,0}$	$F_{670,0}$	$F_{671,0}$	$F_{672,0}$	$F_{673,0}$	$F_{674,0}$	$F_{675,0}$	$F_{676,0}$	$F_{677,0}$	$F_{678,0}$	$F_{679,0}$	$F_{680,0}$	$F_{681,0}$	$F_{682,0}$	$F_{683,0}$	$F_{684,0}$	$F_{685,0}$	$F_{686,0}$	$F_{687,0}$	$F_{688,0}$	$F_{689,0}$	$F_{690,0}$	$F_{691,0}$	$F_{692,0}$	$F_{693,0}$	$F_{694,0}$	$F_{695,0}$	$F_{696,0}$	$F_{697,0}$	$F_{698,0}$	$F_{699,0}$	$F_{700,0}$	$F_{701,0}$	$F_{702,0}$	$F_{703,0}$	$F_{704,0}$	$F_{705,0}$	$F_{706,0}$	$F_{707,0}$	$F_{708,0}$	$F_{709,0}$	$F_{710,0}$	$F_{711,0}$	$F_{712,0}$	$F_{713,0}$	$F_{714,0}$	$F_{715,0}$	$F_{716,0}$	$F_{717,0}$	$F_{718,0}$	$F_{719,0}$	$F_{720,0}$	$F_{721,0}$	$F_{722,0}$	$F_{723,0}$	$F_{724,0}$	$F_{725,0}$	$F_{726,0}$	$F_{727,0}$	$F_{728,0}$	$F_{729,0}$	$F_{730,0}$	$F_{731,0}$	$F_{732,0}$	$F_{733,0}$	$F_{734,0}$	$F_{735,0}$	$F_{736,0}$	$F_{737,0}$	$F_{738,0}$	$F_{739,0}$	$F_{740,0}$	$F_{741,0}$	$F_{742,0}$	$F_{743,0}$	$F_{744,0}$	$F_{745,0}$	$F_{746,0}$	$F_{747,0}$	$F_{748,0}$	$F_{749,0}$	$F_{750,0}$	$F_{751,0}$	$F_{752,0}$	$F_{753,0}$	$F_{754,0}$	$F_{755,0}$	$F_{756,0}$	$F_{757,0}$	$F_{758,0}$	$F_{759,0}$	$F_{760,0}$	$F_{761,0}$	$F_{762,0}$	$F_{763,0}$	$F_{764,0}$	$F_{765,0}$	$F_{766,0}$	$F_{767,0}$	$F_{768,0}$	$F_{769,0}$	$F_{770,0}$	$F_{771,0}$	$F_{772,0}$	$F_{773,0}$	$F_{774,0}$	$F_{775,0}$	$F_{776,0}$	$F_{777,0}$	$F_{778,0}$	$F_{779,0}$	$F_{780,0}$	$F_{781,0}$	$F_{782,0}$	$F_{783,0}$	$F_{784,0}$	$F_{785,0}$	$F_{786,0}$	$F_{787,0}$	$F_{788,0}$	$F_{789,0}$	$F_{790,0}$	$F_{791,0}$	$F_{792,0}$	$F_{793,0}$	$F_{794,0}$	$F_{795,0}$	$F_{796,0}$	$F_{797,0}$	$F_{798,0}$	$F_{799,0}$	$F_{800,0}$	$F_{801,0}$	$F_{802,0}$	$F_{803,0}$	$F_{804,0}$	$F_{805,0}$	$F_{806,0}$	$F_{807,0}$	$F_{808,0}$	$F_{809,0}$	$F_{810,0}$	$F_{811,0}$	$F_{812,0}$	$F_{813,0}$	$F_{814,0}$	$F_{815,0}$	$F_{816,0}$	$F_{817,0}$	$F_{818,0}$	$F_{819,0}$	$F_{$
-----	-----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------

Für die Randpunkte ist eine besondere Betrachtung erforderlich, da die Werte $F_{m+1,n}$ nicht bekannt sind. Ohne im einzelnen die weiteren Schritte und Gleichgewichtsproben vorführen zu wollen, seien anschließend die Bilder mit den Verteilungen der Membrankräfte wiedergegeben (Abb. 27).

Die für die Bemessung maßgebenden Hauptzugspannungen treten in der Richtung

$$\operatorname{tg} 2\beta = -\frac{2N_{xy} \cdot \sin \alpha + N_y \cdot \sin 2\alpha}{N_x + 2N_{xy} \cos \alpha + N_y \cos 2\alpha}$$

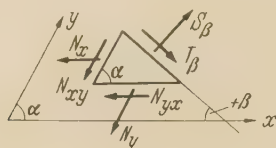


Abb. 28. Richtung der Hauptspannung am Flächenelement.

auf und folgen aus

$$S_\beta = N_x \frac{\sin^2 \beta}{\sin \alpha} + 2N_{xy} \frac{\sin \beta \sin (\alpha + \beta)}{\sin \alpha} + N_y \frac{\sin^2 (\alpha + \beta)}{\sin \alpha}.$$

Es genügt, die Berechnung nur für die Punkte durchzuführen, in denen Zugkräfte auftreten. Damit ist der hauptsächlichste Spannungszustand aus der Membranbetrachtung erledigt. In einem besonderen Rechnungsgang wurde dann der Biegungseinfluß in den Randbereichen sowie die Auswirkung der Temperaturdifferenz auf den Spannungszustand untersucht. Der Stabilitätsnachweis konnte nur angenähert erfolgen, da das Problem exakt noch nicht gelöst ist. Die Bewehrung ist in Abb. 29 dargestellt.

b) Randglied der Kuppel.

Das Randglied dient gleichzeitig zur Aufnahme der Fenster. Um eine dünnwandige Fensterfront zu erhalten, wurde nach Erhärtung des Betons der Schale das Zugband vorgespannt, wodurch die Fenstersäulen, die sonst Druckkräfte zu übernehmen hätten, nunmehr Zugkräfte bekommen haben. Außerdem wurde durch das Vorspannen der Zugglieder die Betonschale angehoben, so daß sich eine gleichmäßige Ablösung von der Schalung ergab. In statischer Beziehung stellt das Randglied ein Stabwerk mit Zugband dar, bei dem die 7 Überzähligen wegen der Symmetrie des Systems auf 4 ermäßigt werden konnten (Abb. 30 u. 31). Eine wesentliche Beanspruchung wird durch die außermittig angreifenden Randschubkräfte erzeugt. Dieser Lastfall (Abb. 32) sowie der durch Vorspannung des Zugbandes wurden gesondert untersucht. Die Berechnung erfolgte mit der Arbeitsgleichung

$$EI_c \delta_{ik} = \int M_i M_k \frac{I_c}{I \cos \varphi} dx + \int F_c \int N_i N_k \frac{F_c}{F \cos \varphi} dx + \frac{I_c}{F_z} Z_i Z_k l_z.$$

Für den Lastfall Vorspannung ist beim Zugband für F_z die Betonfläche einzusetzen. Wegen des nicht gesetzmäßig zu erfassenden Verlaufes der Trägheitsmomente wurde die Integration nach Simpson durchgeführt. Die Schnittkräfte errechneten sich unter der Annahme

g = ständige Last (80 % der Vollast),

p = wechselnde Last (20 % der Vollast),

v = Vorspannung,

$\varphi + S$ = Kriechen und Schwinden (−10,2 % der Vorspannung).

Es wurden zwei Lastfälle unterschieden:

Lastfall I: $g + v$,

Lastfall II: $g + v + p + \varphi + S$.

Damit ergaben sich für den Bogen die aus der folgenden Zahlentafel hervorgehenden Momente und Normalkräfte. Bei den letzteren deutet das „+ Vorzeichen“ auf eine Zugkraft hin.

Bogen:

Punkt	0	1	2	3	4	5	6	7	
M_I	−0,09	+0,30	−0,30	+0,55	−0,24	+2,44	−3,37	0	tm
M_{II}	+0,17	−0,21	−0,04	+0,06	−0,05	+2,08	−2,66	0	tm
N_I	−12,7	−14,4	−17,1	−23,5	−30,9	−44,2	−58,3	−67,2	t
N_{II}	−3,4	−5,3	−8,8	−16,2	−25,2	−40,5	−58,0	−69,2	t

Stützen und Zugband:

Punkt	Zugband	Stütze b 1	Stütze c 3	Stütze d 5	
$\max N$	−32,5	+1,3	+2,4	+8,7	t
$\min N$	−44,2	−0,6	+0,6	+7,3	t

Grundrißprojektion

(Es ist nur die untere Bewehrung dargestellt, die obere Bewehrung ist auf Lücke zu verlegen!)

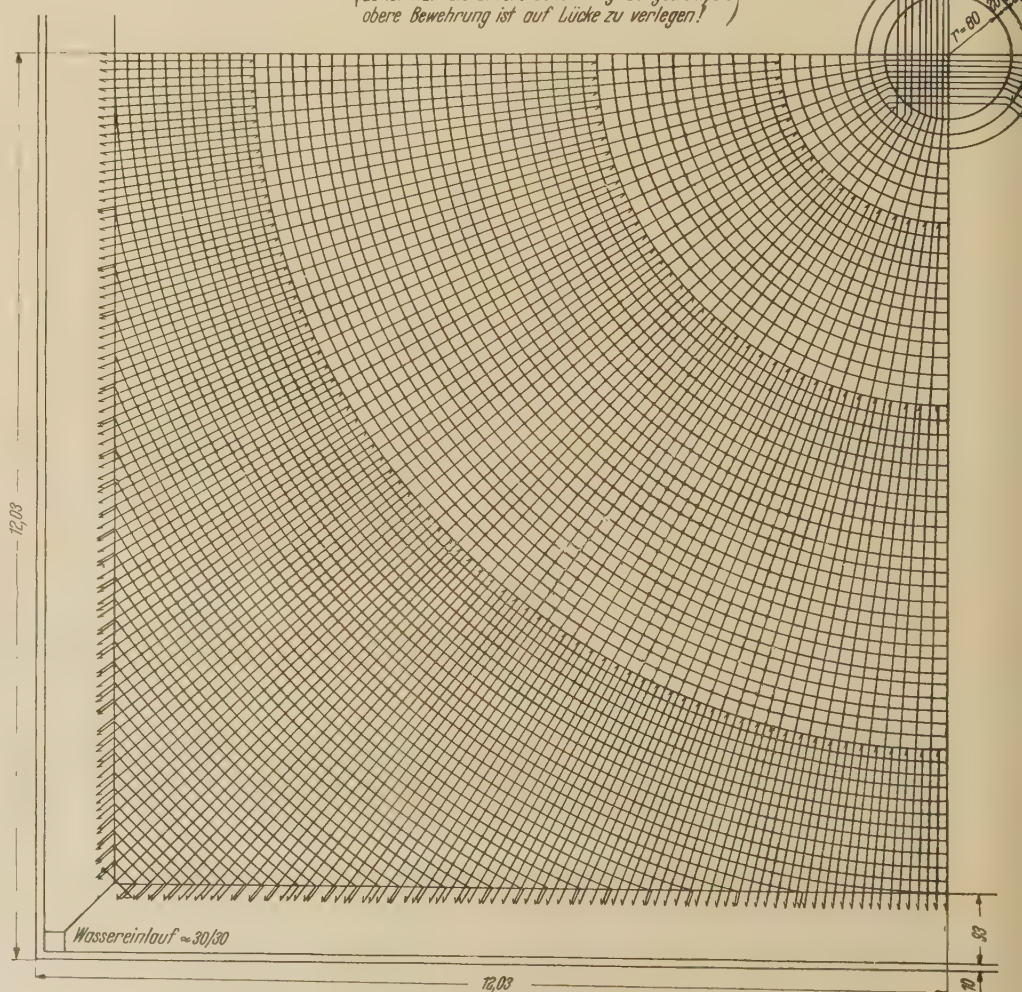


Abb. 29. Bewehrung der Kuppel.

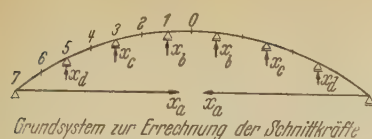


Abb. 30. Grundsystem zur Errechnung der Schnittkräfte.



Abb. 31. Schnittkräfte im Bogen.

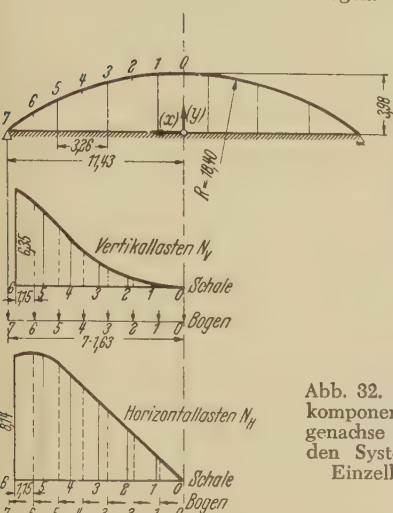


Abb. 32. Vertikal- und Horizontal-komponenten der tangential zur Bogenachse wirkenden Schubkräfte, in den Systempunkten des Bogens zu Einzelkräften zusammengefaßt.

Die Bewehrung des Randgliedes der Kuppel zeigt Abb. 33. Auf die weiteren Rechnungen und Konstruktionen einzugehen, erübrigt sich, da sie keine Besonderheiten bieten.

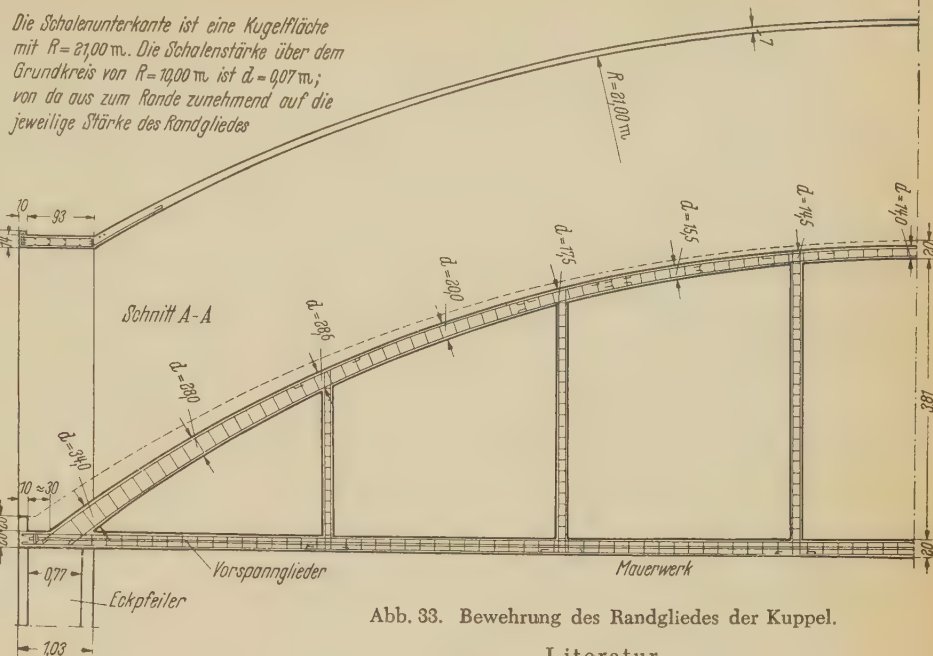


Abb. 33. Bewehrung des Randgliedes der Kuppel.

Literatur.

1. F. Dischinger: Abb. Int. Ver. f. Brückenbau u. Hochbau 4 (1936) S. 227.
2. F. Dischinger: Beton u. Eisen 34 (1935) S. 257, 283.
3. F. Schleicher: Kreisplatten auf elastischer Unterlage. Berlin 1926.
4. F. Tölke: Besselsche und Hankelsche Zylinderfunktionen. Stuttgart 1936.
5. A. Pucher: Bauingenieur 18 (1937) S. 118.
6. A. Pucher: Beton und Eisen 33 (1934) S. 298.

Bemerkung: In Pucher [5] Gl. (5) muß es heißen: $t = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}$ statt $t = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$ und in Gl. (6) muß der Faktor vor der viergliedrigen Klammer heißen $\frac{s}{2hk}$ statt $\frac{2s}{hk}$.

Ein Beitrag zur Berechnung isotroper, kreiszylindrischer Schalendächer.

Von Dipl.-Ing. Rudolf Aschenbrenner und Hans Alexander Lange, Buenos Aires.

Die Lösung des Randproblems für die Längsränder kreiszylindrischer Schalen wurde von Aas Jakobsen [1] nach einem Iterationsverfahren entwickelt und im besonderen eine Tabulierung für die 2 bestimmten Schalentypen I ($\kappa = 0,05$, $\varrho = 5$) und II ($\kappa = 0,25$, $\varrho = 17$) ausgearbeitet, welche die weit- bzw. kurzgespannten Schalenformen charakterisieren.

Nun zeigt sich an Hand von ausgeführten Schalendächern in Stahlbeton, daß neben jenen von A. Jakobsen charakterisierten Schalentypen I und II auch solche Schalenformen existieren, die zwischen beide zu liegen kommen. Obzwar die Wurzelwerte der charakteristischen Gleichung für die verschiedenen Schalen nur geringe Unterschiede aufweisen, können die Ergebnisse bei Verwendung der Integrationskonstanten der Typen I und II dennoch mit Fehlern von beachtenswerter Größenordnung behaftet sein. Dieser Tatsache wird mit vorliegender Arbeit Rechnung getragen, indem 2 neue, sogenannte Zwischentypen Ia ($\kappa = 0,10$, $\varrho = 7$) und IIa ($\kappa = 0,16$, $\varrho = 10$) eingeschaltet wurden, für welche ebenfalls eine Tabulierung der Integrationskonstanten für die Schnittkräfte, Momente und Verschiebungen zur Durchführung kam.

Bekanntlich ergibt sich durch den monolithischen Zusammenhang zwischen einer Schale und deren Randträger ein Randstörungsproblem, welches auf eine algebraische Gleichung 8. Grades führt. Mit den konjugiert komplexen Wurzeln dieser „charakteristischen“ Gleichung wird es dann möglich, den gesamten Spannungsverlauf einer beliebigen Zylinderschale vollständig zu bestimmen.

Unter Vernachlässigung der Querkontraktion lautet die Gleichung allgemein:

$$m^8 + c_1 \cdot m^6 + c_2 \cdot m^4 + c_3 \cdot m^2 + c_4 = 0,$$

wobei die Koeffizienten nach A. Jakobsen nach der 2. Iteration folgende Form annehmen:

$$\begin{aligned} c_1 &= 2/\varrho^2 - 4\kappa, & c_3 &= -8\kappa/\varrho^4 + 13x^2/\varrho^2 - 4\kappa^3, \\ c_2 &= 1/\varrho^4 - 8\kappa/\varrho^2 + 6\kappa^2, & c_4 &= \kappa^4 + 1, \end{aligned}$$

Tabelle 1. Festwerte κ und ϱ ausgeführter Schalendächer in Stahlbeton.

Bau	ausführende Baufirma	d cm	a m	l m	κ	ϱ	Type
Estexa, Textilfabrik in Rosario	Gallo y Cía	7	10	18	0,08	6,3	Ia
Buder, Fabrik in Buenos Aires		6	10	12	0,11	7,9	
Celulosa Capitán Bermúdez, Papierfabrik in Rosario	Empresa Argentina de Cemento Armado	7	16,2	20	0,09	8,5	IIa
Burco, Schraubenfabrik in Lujan		6	10	7,4	0,18	10	
Talleres metalurgicos, Fabrik in San Isidro		6	10,6	8,0	0,17	10,2	
Alpesa S. A., Spinnerei in Buenos Aires		6	12,9	9,5	0,16	10,8	

während nach der strengen Theorie von F. Dischinger [2] Unterschiede in den beiden letzten Koeffizienten bestehen. Diese betragen:

$$c_3 = 4\kappa/\rho^4 + 6\kappa^2/\rho^2 - 4\kappa^3, \quad c_1 = 4\kappa^2/\rho^4 + \kappa^1 + 1.$$

Zum Zweck der numerischen Lösung [3] der charakteristischen Gleichung für die, den 4 Typen zugeordneten



Abb. 1. Luftaufnahme der Textilfabrik „Estexa“ in Rosario (Argentinien) während des Baues.

Wertpaare κ und ρ , reduzieren wir diese mittels stufenweiser Substitution auf 2 gekoppelte Gleichungen 2. Grades, wobei für $m^2 = \pm 0,7 - 0,7 \cdot i$ als erster Näherungswert eingesetzt werden kann. Durch Verbesserung der Werte für m^2 und Wiederholung des Rechnungsganges kann die gewünschte Genauigkeit erreicht werden. Schließlich überprüfen wir die Resultate nach dem Divisionsverfahren von Horner.

Die Werte der reduzierten Wurzel m der charakteristischen Gleichung in der Fassung von A. Jakobsen und F. Dischinger, berechnet für die 4 Typen, unterscheiden sich gemäß Tabelle 2 erst nach der dritten Dezimale. Für den Aufbau der Zwischentypen sollen jedoch die Wurzelwerte nach der strengen Theorie Anwendung finden [4].

Bezüglich der Bezeichnungen für die Kraft- und Verschiebungsgrößen sei auf K. Girkmann verwiesen. Weiter bedeuten:

- a = Krümmungshalbmesser
- d = Schalenstärke
- l = Binderabstand (Spannweite)
- $\lambda = n \cdot \pi/l, \quad n = 1, 2, 3 \dots$
- φ = Winkel in der Ringrichtung, vom Rande aus fortschreitend
- E = Elastizitätsmodul
- $D \doteq E \cdot d$ = Dehnsteifigkeit

Im übrigen gelten für die Schalenränder an den Binderscheiben die üblichen Bedingungen, welche verlangen, daß die Verschiebungen

$$v = w = 0 \quad \text{und} \quad u \neq 0 \quad \text{sind.}$$

Der Vorgang zur Bestimmung der Integrationskonstanten ist ausführlich in der Fachliteratur [1] u. [5] beschrieben worden, so daß wir uns auch hier auf das Notwendigste beschränken können.

Die Integrationskonstanten B_k, C_k und D_k haben denselben Aufbau wie die erste Integrationskonstante A_k wodurch der gesamte Ausdruck für jede Schnittkraft, Moment und Verschiebung festliegt, sobald der Multiplikator und die erste Integrationskonstante bekannt sind. Demnach lautet zum Beispiel das Ringmoment:

$$m_\varphi = \sin \lambda x \left\{ e^{\varrho \eta \varphi} \cdot [A_I \cdot \cos \varrho \beta \varphi + B_I \cdot \sin \varrho \beta \varphi] + e^{\varrho \mu \varphi} \cdot [C_I \cdot \cos \varrho \gamma \varphi + D_I \cdot \sin \varrho \gamma \varphi] \right\}.$$

Beispiel 1:

$$\left. \begin{aligned} d &= 0,06 \text{ m} \\ a &= 8,5 \text{ m} \\ l &= 12,1 \text{ m} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{Festwerte } \kappa = 0,10 \text{ und} \\ &\rho = 7 \text{ der Type Ia.} \end{aligned}$$

Die Schale wird am Rande $\varphi = 0$ mit der Querkraft $\bar{q} = \sin \lambda x (n = 1)$ belastet. Die Ränder beeinflussen sich gegenseitig nicht.

Mit Hilfe der Tabelle 4 ergeben sich die 4 Bestimmungsgleichungen:

$$\begin{aligned} \bar{q}_\varphi &= \sin \lambda x, \\ m_\varphi &= 0, \\ n_{\varphi x} &= 0, \\ n_\varphi &= 0, \end{aligned}$$

aus denen die Ausgangskonstanten:

$$\begin{aligned} A &= +2,96359, \\ B &= +0,93452, \\ C &= +1,84708, \\ D &= +0,93494, \end{aligned}$$

gewonnen werden.

Tabelle 2. Zusammenstellung der reduzierten Wurzeln $m = \begin{cases} \eta \pm \beta \cdot i, \\ \mu \pm \gamma \cdot i. \end{cases}$

	Type I $\kappa = 0,05, \rho = 5$		Type Ia $\kappa = 0,10, \rho = 7$		Type IIa $\kappa = 0,16, \rho = 10$		Type II $\kappa = 0,25, \rho = 17$	
	η	βi	η	βi	η	βi	η	βi
	μ	γi	μ	γi	μ	γi	μ	γi
Dischinger	$-0,93790989 \pm 0,37645416 i$		$-0,96513829 \pm 0,36582644 i$		$-0,99438509 \pm 0,35513272 i$		$-1,03542487 \pm 0,34120482 i$	
	$-0,38801353 \pm 0,91022620 i$		$-0,40041724 \pm 0,88227267 i$		$-0,41505454 \pm 0,85144156 i$		$-0,43810819 \pm 0,80689709 i$	
2. Iteration	$-0,937926$	$\pm 0,376497 i$	$-0,965203$	$\pm 0,365974 i$	$-0,994480$	$\pm 0,355338 i$	$-1,035518$	$\pm 0,341387 i$
A. Jakobsen	$-0,387969$	$\pm 0,910206 i$	$-0,400273$	$\pm 0,882217 i$	$-0,414861$	$\pm 0,851374 i$	$-0,437944$	$\pm 0,806851 i$

Tabelle 3. Zusammenstellung der Hilfskonstanten A_n und C_n für die Ableitungen $n = 1$ bis 8 nach den Rekursionsformeln:

$$A_n = \eta \cdot A_{n-1} + \beta \cdot B_{n-1}, \quad B_n = -\beta \cdot A_{n-1} + \eta \cdot B_{n-1}, \quad C_n = \mu \cdot C_{n-1} + \gamma \cdot D_{n-1}, \quad D_n = -\gamma \cdot C_{n-1} + \mu \cdot D_{n-1}.$$

Ableitung n	Type Ia		Type IIa	
	A_n	C_n	A_n	C_n
0	1,0 A	1,0 C	1,0 A	1,0 C
1	$-0,965138 A + 0,365826 B$	$-0,400417 C + 0,882273 D$	$-0,994385 A + 0,355133 B$	$-0,415055 C + 0,851442 D$
2	$+0,797662 A - 0,706145 B$	$-0,618072 C - 0,706554 D$	$+0,862682 A - 0,706278 B$	$-0,552682 C - 0,706790 D$
3	$-0,511528 A + 0,973332 B$	$+0,870860 C - 0,262392 D$	$-0,607015 A + 1,008679 B$	$+0,831184 C - 0,177220 D$
4	$+0,137625 A - 1,126530 B$	$-0,117206 C + 0,873402 D$	$+0,245392 A - 1,218586 B$	$-0,194094 C + 0,781261 D$
5	$+0,279287 A + 1,137604 B$	$-0,723648 C - 0,453133 D$	$+0,188746 A + 1,298891 B$	$-0,584638 C - 0,489526 D$
6	$-0,685715 A - 0,995775 B$	$+0,689548 C - 0,457013 D$	$-0,648965 A - 1,224568 B$	$+0,659460 C - 0,294605 D$
7	$+1,026090 A + 0,710208 B$	$+0,127103 C + 0,791366 D$	$+1,080206 A + 0,987223 B$	$-0,022873 C + 0,683769 D$
8	$-1,250131 A - 0,310079 B$	$-0,749095 C - 0,204736 D$	$-1,424736 A - 0,598063 B$	$-0,572696 C - 0,303277 D$

Tabelle 4. Integrationskonstanten für Schnittkräfte, Momente und Verschiebungen der Type Ia ($\alpha = 0,10$, $\varrho = 7$).

k	Multiplikator	A_k	B_k	C_k	D_k
I	m_φ	$+0,81807 A - 0,70615 B$	$+0,70615 A + 0,81807 B$	$-0,59766 C - 0,70655 D$	$+0,70655 C - 0,59766 D$
II	q_φ	$-0,43287 A + 0,94493 B$	$-0,94493 A - 0,43287 B$	$+0,90361 C - 0,33070 D$	$+0,33070 C + 0,90361 D$
III	n_φ	$+0,0001 A + 1,0002 B$	$-1,0002 A + 0,0001 B$	$-0,0001 C - 0,9999 D$	$+0,9999 C - 0,0001 D$
IV	$n_{x\varphi}$	$-0,35557 A - 0,98365 B$	$+0,98365 A - 0,35557 B$	$+0,86422 C + 0,40843 D$	$-0,40843 C + 0,86422 D$
V	$n_{\varphi x}$	$-0,35758 A - 0,98293 B$	$+0,98293 A - 0,35758 B$	$+0,86339 C + 0,41020 D$	$-0,41020 C + 0,86339 D$
VI	n_x	$-0,705 A - 0,818 B$	$+0,818 A - 0,705 B$	$+0,707 C - 0,597 D$	$+0,597 C + 0,707 D$
VII	u	$+0,705 A + 0,818 B$	$-0,818 A + 0,705 B$	$-0,707 C + 0,597 D$	$-0,597 C - 0,707 D$
VIII	v	$+0,90875 A + 0,33495 B$	$-0,33495 A + 0,90875 B$	$+0,41681 C + 0,94537 D$	$-0,94537 C + 0,41681 D$
IX	w	$1,0 A$	$1,0 B$	$1,0 C$	$1,0 D$
X	ϑ	$-0,98372 A + 0,35902 B$	$-0,35902 A - 0,98372 B$	$-0,40893 C + 0,86302 D$	$-0,86302 C - 0,40893 D$
XI	m_x	$-0,98566 A + 0,01675 B$	$-0,01675 A - 0,98566 B$	$-1,01438 C + 0,01225 D$	$-0,01225 C - 1,01438 D$
XII	q_x	$+0,72093 A - 0,70291 B$	$+0,70291 A + 0,72093 B$	$-0,70053 C - 0,70398 D$	$+0,70398 C - 0,70053 D$
XIII	$\bar{q}_\varphi$	$-0,33444 A + 0,90925 B$	$-0,90925 A - 0,33444 B$	$+0,94435 C - 0,41708 D$	$+0,41708 C + 0,94435 D$
XIV	$m_{x\varphi}$	$-0,98367 A + 0,35893 B$	$-0,35893 A - 0,98367 B$	$-0,40901 C + 0,86304 D$	$-0,86304 C - 0,40901 D$
XV	$m_{\varphi x}$	$-0,98439 A + 0,35691 B$	$-0,35691 A - 0,98439 B$	$-0,40724 C + 0,86386 D$	$-0,86386 C - 0,40724 D$

Tabelle 5. Integrationskonstanten für Schnittkräfte, Momente und Verschiebungen der Type IIa ($\alpha = 0,16$, $\varrho = 10$).

k	Multiplikator	A_k	B_k	C_k	D_k
I	m_φ	$+0,87268 A - 0,70628 B$	$+0,70628 A + 0,87268 B$	$-0,54268 C - 0,70679 D$	$+0,70679 C - 0,54268 D$
II	q_φ	$-0,45643 A + 0,95590 B$	$-0,95590 A - 0,45643 B$	$+0,89416 C - 0,30340 D$	$+0,30340 C + 0,89416 D$
III	n_φ	$+0,0001 A + 1,0002 B$	$-1,0002 A + 0,0001 B$	$-0,0001 C - 0,9999 D$	$+0,9999 C - 0,0001 D$
IV	$n_{x\varphi}$	$-0,34856 A - 1,00257 B$	$+1,00257 A - 0,34856 B$	$+0,84280 C + 0,41968 D$	$-0,41968 C + 0,84280 D$
V	$n_{\varphi x}$	$-0,35016 A - 1,00202 B$	$+1,00202 A - 0,35016 B$	$+0,84213 C + 0,42103 D$	$-0,42103 C + 0,84213 D$
VI	n_x	$-0,705 A - 0,872 B$	$+0,872 A - 0,705 B$	$+0,708 C - 0,542 D$	$+0,542 C + 0,708 D$
VII	u	$+0,705 A + 0,872 B$	$-0,872 A + 0,705 B$	$-0,708 C + 0,542 D$	$-0,542 C - 0,708 D$
VIII	v	$+0,89936 A + 0,29679 B$	$-0,29679 A + 0,89936 B$	$+0,43776 C + 0,96265 D$	$-0,96265 C + 0,43776 D$
IX	w	$1,0 A$	$1,0 B$	$1,0 C$	$1,0 D$
X	ϑ	$-1,00340 A + 0,35218 B$	$-0,35218 A - 1,00340 B$	$-0,41944 C + 0,84184 D$	$-0,84184 C - 0,41944 D$
XI	m_x	$-0,99297 A + 0,00875 B$	$-0,00875 A - 0,99297 B$	$-1,00705 C + 0,00545 D$	$-0,00545 C - 1,00705 D$
XII	q_x	$+0,71493 A - 0,70370 B$	$+0,70370 A + 0,71493 B$	$-0,70493 C - 0,70482 D$	$+0,70482 C - 0,70493 D$
XIII	$\bar{q}_\varphi$	$-0,29582 A + 0,89983 B$	$-0,89983 A - 0,29582 B$	$+0,96106 C - 0,43820 D$	$+0,43820 C + 0,96106 D$
XIV	$m_{x\varphi}$	$-1,00338 A + 0,35215 B$	$-0,35215 A - 1,00338 B$	$-0,41947 C + 0,84185 D$	$-0,84185 C - 0,41947 D$
XV	$m_{\varphi x}$	$-1,00393 A + 0,35054 B$	$-0,35054 A - 1,00393 B$	$-0,41812 C + 0,84251 D$	$-0,84251 C - 0,41812 D$

Beispiel 2:

$$\left. \begin{array}{l} d = 0,06 \text{ m} \\ a = 10,8 \text{ m} \\ l = 8,5 \text{ m} \end{array} \right\} \text{ Festwerte } \alpha = 0,16 \text{ und } \varrho = 10 \text{ der Type IIa.}$$

Belastung und Randbedingungen sind dieselben wie in Beispiel 1.

Nach Verwendung der Tabelle 5 ergeben sich die Ausgangskonstanten mit folgenden Werten:

$$\begin{aligned} A &= +2,11483, \\ B &= +0,76543, \\ C &= +1,40722, \\ D &= +0,76584. \end{aligned}$$

An Hand der Beispiele 1 und 2 für die Type Ia bzw. IIa, welche jeweils mit den exakten Integrationskonstanten, als auch jenen der benachbarten Typen gerechnet werden, soll die Größenordnung der Fehler, die hierbei auftreten, ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 6 und 7 zusammengestellt. Auf Grund dessen läßt sich erkennen, daß bei Schalenformen, die sich sowohl von den Typen I als auch II distanzieren, trotz der geringen Unterschiede in den Wurzelwerten m , die Endergebnisse mit nicht unbedeutenden Fehlern behaftet sein können, sobald auf eine Berechnung mit den exakten Integrationskonstanten verzichtet wird.

Tabelle 6. Ergebnisse eines Beispiels der Zwischentype Ia bei Anwendung der Integrationskonstanten von Ia, I und IIa.

φ_0	k		Multiplikator	Ia	I	Fehler %	IIa	Fehler %	
12	I	m_φ	$\sin \lambda x$	+0,95	+1,21	27,4	+0,74	22,1	
		II	q_φ	+0,792	+0,871	10,0	+0,733	7,5	
		VI	n_x	$\sin \lambda x$	-122	-142	16,4	-103	15,6
	0	IX	w	$10^3 \cdot \sin \lambda x / E$	+397	+474	19,4	+326	17,9
		XI	m_x	$\sin \lambda x$	-0,474	-0,562	18,6	-0,392	17,3
		XII	q_x	$\cos \lambda x$	-0,123	-0,075	39,0	-0,163	32,5
		XV	$m_{\varphi x}$	$\cos \lambda x$	-0,797	-0,985	23,6	-0,637	20,1
im Durchschnitt					22%	19%			

Tabelle 7. Ergebnisse eines Beispiels der Zwischentype IIa bei Anwendung der Integrationskonstanten von IIa, Ia und II.

φ_0	k		Multiplikator	II a	I a	Fehler %	II	Fehler %	
12	I	m_φ	$\sin \lambda x$	+0,66	+0,85	28,8	+0,47	28,8	
		II	q_φ	$\sin \lambda x$	+0,734	+0,792	7,9	+0,688	6,3
		VI	n_x	$\sin \lambda x$	-91,7	-109	18,9	-71,7	21,8
		IX	w	$10^3 \cdot \sin \lambda x / E$	+231	+281	21,7	+178	23,0
		XI	m_x	$\sin \lambda x$	-0,559	-0,676	21,0	-0,431	22,9
		XII	q_x	$\cos \lambda x$	-0,206	-0,155	24,8	-0,251	21,8
		XV	$m_{\varphi x}$	$\cos \lambda x$	-0,718	-0,899	25,2	-0,537	25,2
im Durchschnitt						21%	211		

Mittels der beiden, mehr oder weniger extremen Typen I und II, sowie der neu hinzukommenden Zwischentypen Ia und IIa können nun alle baumäßigen Schalenformen im Bereiche von $\kappa = 0,03$ bis $0,32$ und von $\varrho = 3$ bis 24 in 4 Gruppen eingeteilt werden, wobei jede einzelne durch die entsprechende Schalentype charakterisiert wird.

Das Diagramm der Tabelle 8 soll ein unmittelbares Ablesen der Festwerte κ und ϱ nach den Verhältniszahlen a/d und a/l gestatten als auch die Bestimmung der statischen Zugehörigkeit einer beliebigen Schalenform zur entsprechenden Gruppe beziehungsweise Type ermöglichen. Der Verlauf der Grenzlinie zwischen 2 Gruppen ist hierbei für ein $m = \text{const}$ ermittelt, dessen Größe dem Mittel aus den Wurzelwerten der betrachteten Typen entspricht. κ und ϱ sind bekanntlich von stark verschiedenem Einfluß, wobei ϱ lediglich bei den weitgespannten Schalen an Bedeutung gewinnt. Deswegen haben Schalenformen, die sich durch ein gleiches κ , jedoch unterschiedliches ϱ auszeichnen, nahezu dieselben komplexen Wurzelwerte m , weshalb auch die Grenzlinie zwischen den Typen II und IIa bereits parallel zu den κ -Linien verläuft.

Bei dieser Verteilung ergibt sich im ungünstigsten Falle, das heißt wenn eine Schalenform gerade an die Grenze zweier Typen zu liegen kommt, ein Fehler von ca. 10 % gemittelt aus Schnittkräften, Momenten und Verschiebungen bzw. ein solcher von ca. 13 % allein für die Ringmomente. Diese Fehlergrößen dürften für die Praxis tragbar sein, so daß eine weitere Unterteilung oder gar eine exakte Ermittlung der Integrationskonstante für jede einzelne Schalenform als nicht notwendig erachtet zu werden braucht.

Die Bemessung von Schalentragswerken allein nach den zulässigen Werkstoffspannungen muß noch keine ausreichende Gewähr für die Sicherheit eines Bauwerkes sein, sobald man eine Stabilitätsuntersuchung unterläßt. Es hat deshalb in der graphischen Tabelle 8 auch das Beulvermögen als Funktion von κ und ϱ Darstellung gefunden. Für konzentrischen Außendruck am Kreiszylinder kommt man nach W. Flügge bei Einführung der Parameter κ und ϱ auf die Beulformel [6]:

$$q_k = 6,08 \cdot \frac{\kappa^3}{\varrho^4} \cdot (1 + 0,76 \cdot \kappa - 0,27/\varrho^2) \cdot E.$$

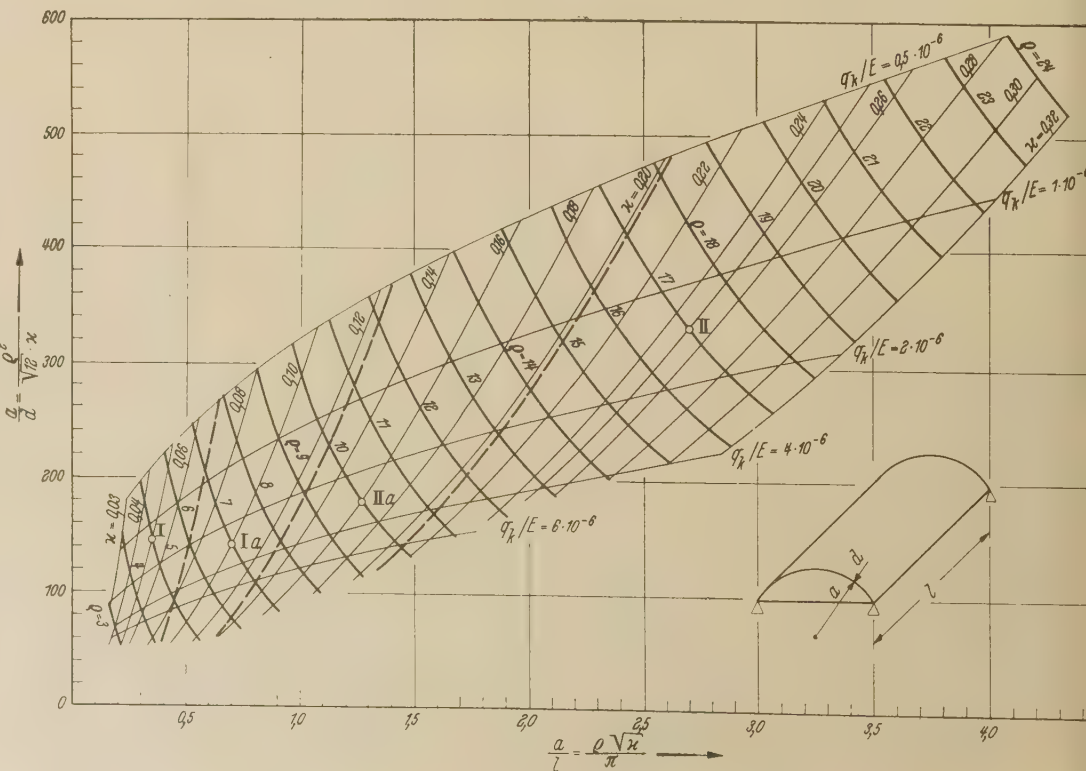
In dieser Näherungsformel ist der Einfluß der Längsspannungen n_x nicht berücksichtigt, welcher allerdings nur bei den Quertonnen Bedeutung erlangt.

Abschließend kann noch festgestellt werden, daß sich die Zwischentypen Ia und IIa, mit den gewählten κ - und ϱ -Werten, durch eine besondere hohe Beultragkraft auszeichnen.

Literatur:

- 1. A. Jacobsen: Bauingenieur 20 (1939) S. 394 u. f.
- 2. Bauingenieur 20 (1939) S. 398, Gl. (8e) (im drittletzten Glied ist ein Vorzeichenfehler).
- 3. H. Lundgren: Cylindrical Shells, Kopenhagen 1951. S. 207.
- 4. R. Ohlig: Beton- u. Stahlbetonbau 48 (1953) S. 236, Fußnote 8. — Vgl. auch E. Berger, Beton- u. Stahlbetonbau 48 (1953) S. 64.
- 5. K. Girkmann: Flächentragwerke (1946). Die auf S. 411 gebrachte Fassung der ersten Integrationskonstante, welche gegenüber jener in Bauingenieur 20 (1939) S. 399, Zahlentafel III, Verbesserungen aufweist, wird für den Fall der Zwischentypen herangezogen.
- 6. E. R. Berger: Beton- und Stahlbetonbau 48 (1953) S. 288.

Tabelle 8. Graphische Tafel zur Bestimmung der Festwerte κ und ϱ , der statischen Zugehörigkeit und der kritischen Beullast q_k kreiszylindrischer Schalen.



Allgemeines.

Von dem im Gebiet der Hohen Tauern möglichen und projektierten Großwasser-Kraftanlagen wurde der Bau der im Kapruner Tal geplanten, als Tauernkraftwerk Glockner-Kaprun bezeichneten Anlage im Jahre 1939 in Angriff genommen. Der Speicher Wasserfallboden mit der Limbergsperrre und das Krafthaus in Kaprun stellen die Hauptstufe

dar. Der Mooserboden wird gegenwärtig zum Speicherraum für die Oberstufe ausgebaut. Am nördlichen Tal-
schluß des Mooserbodens steht fast in Talbodenmitte ein
mächtiger Felskegel, die Höhenburg genannt, der dem Tal
zwei Ausgänge verleiht, die durch 2 Talsperren abge-
schlossen werden (Abb. 1). Der westliche Talausgang wird
durch die Moosersperre abgeriegelt, die als leicht ge-

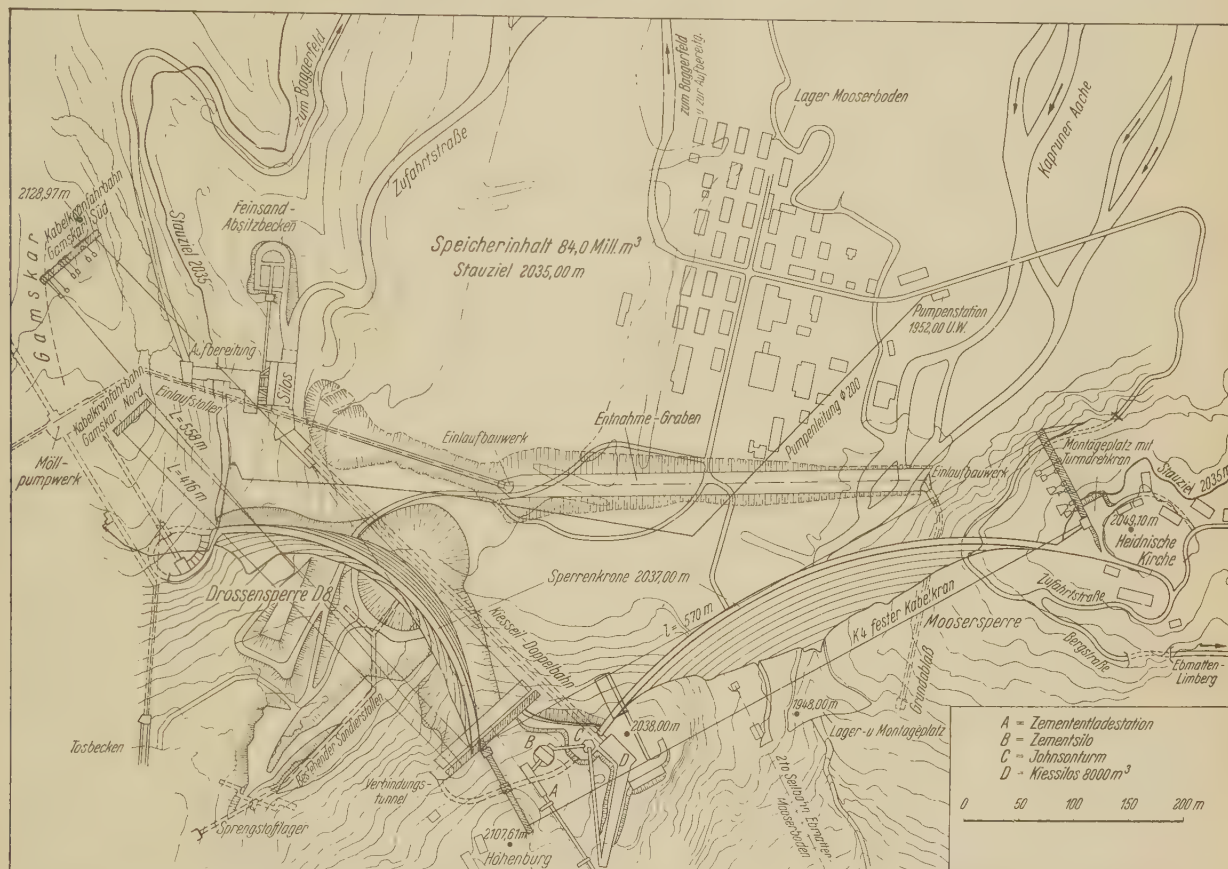


Abb. 1. Übersichtslageplan der Baustelleneinrichtung.

Abb. 4 (rechts). Baustelleneinrichtung auf der Höhenburg.

Abb. 2 (unten). Beladen des Kabelkrankübels mit Frischbeton.

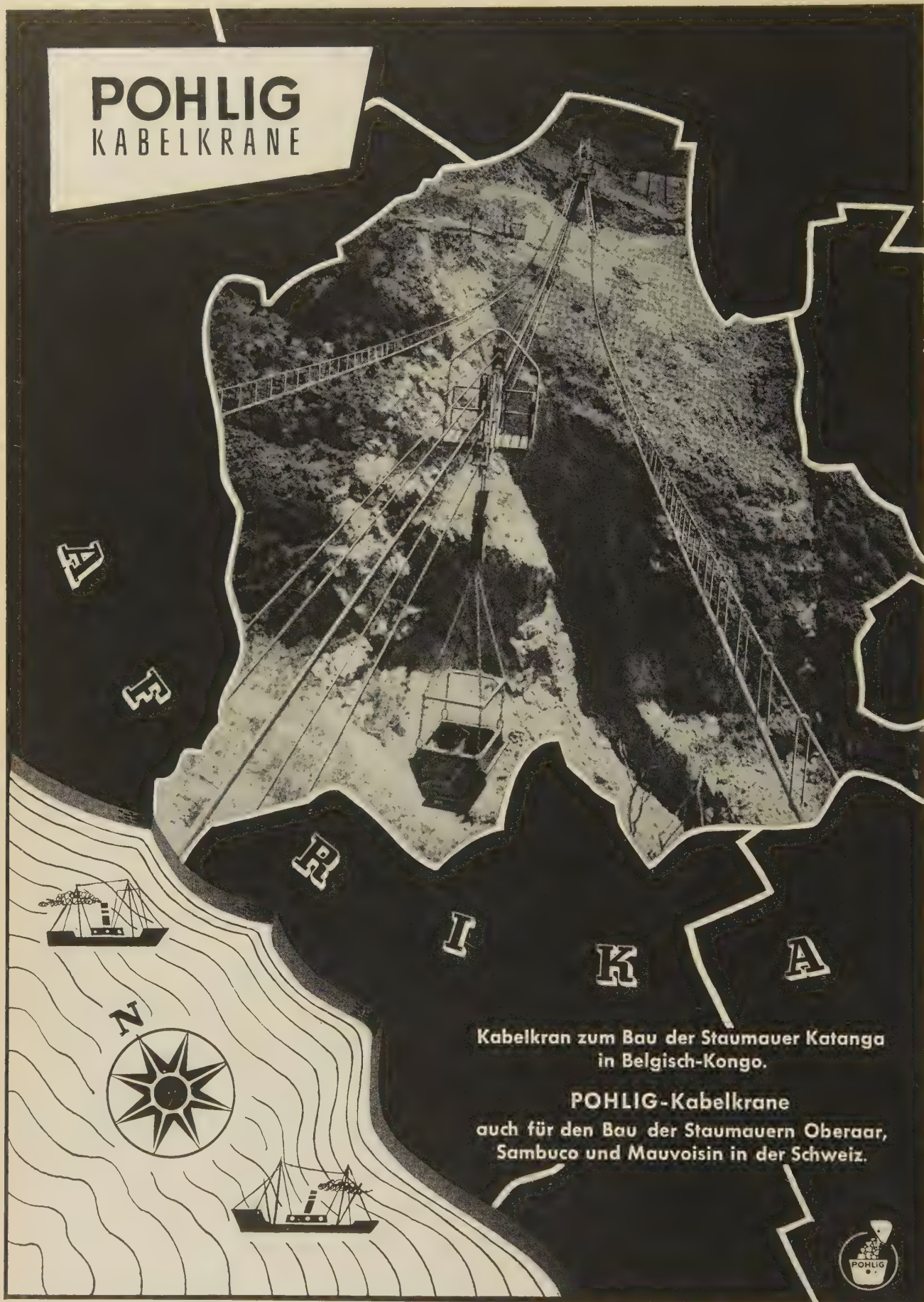




TORSTAHL

ZEICHEN DES FORTSCHRITTS

POHLIG KABELKRANE



Kabelkran zum Bau der Staumauer Katanga
in Belgisch-Kongo.

POHLIG-Kabelkrane
auch für den Bau der Staumauern Oberaar,
Sambuco und Mauvoisin in der Schweiz.

J. POHLIG AKTIENGESELLSCHAFT · KÖLN

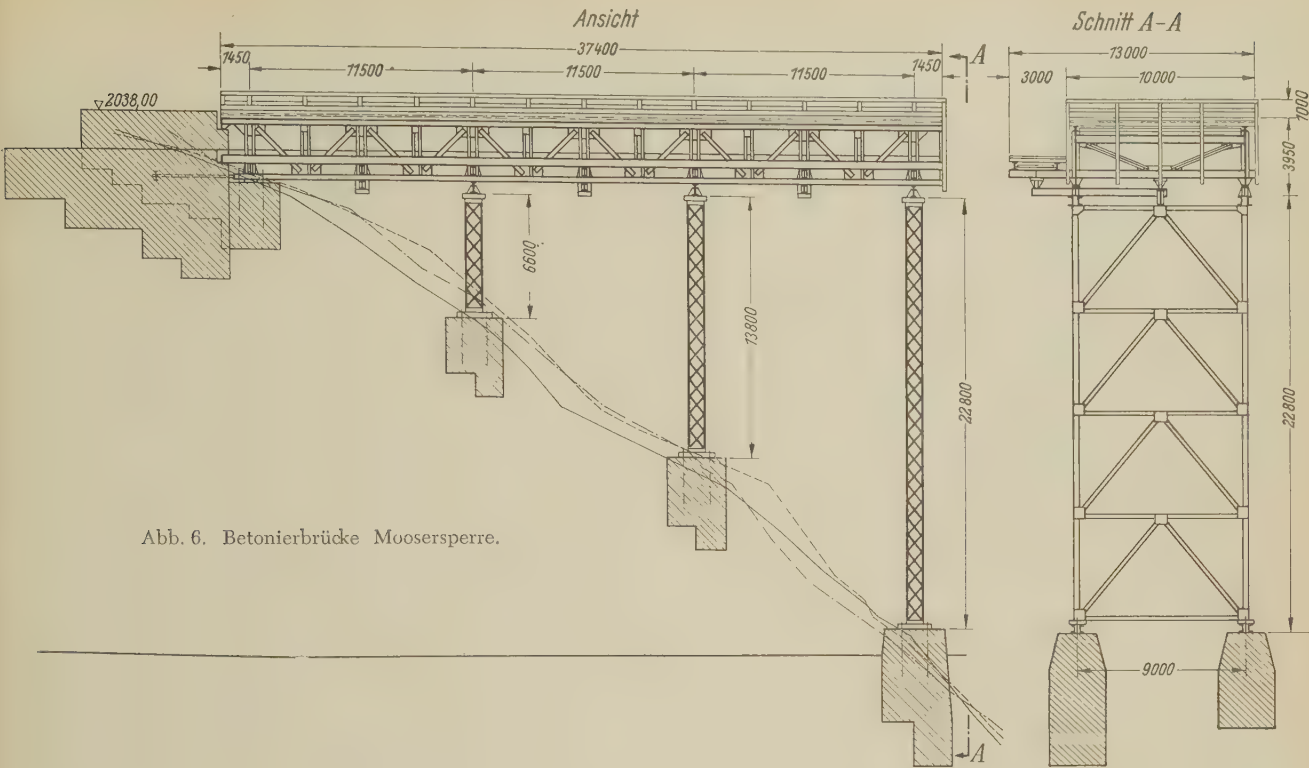


Abb. 6. Betonierbrücke Mooserperre.

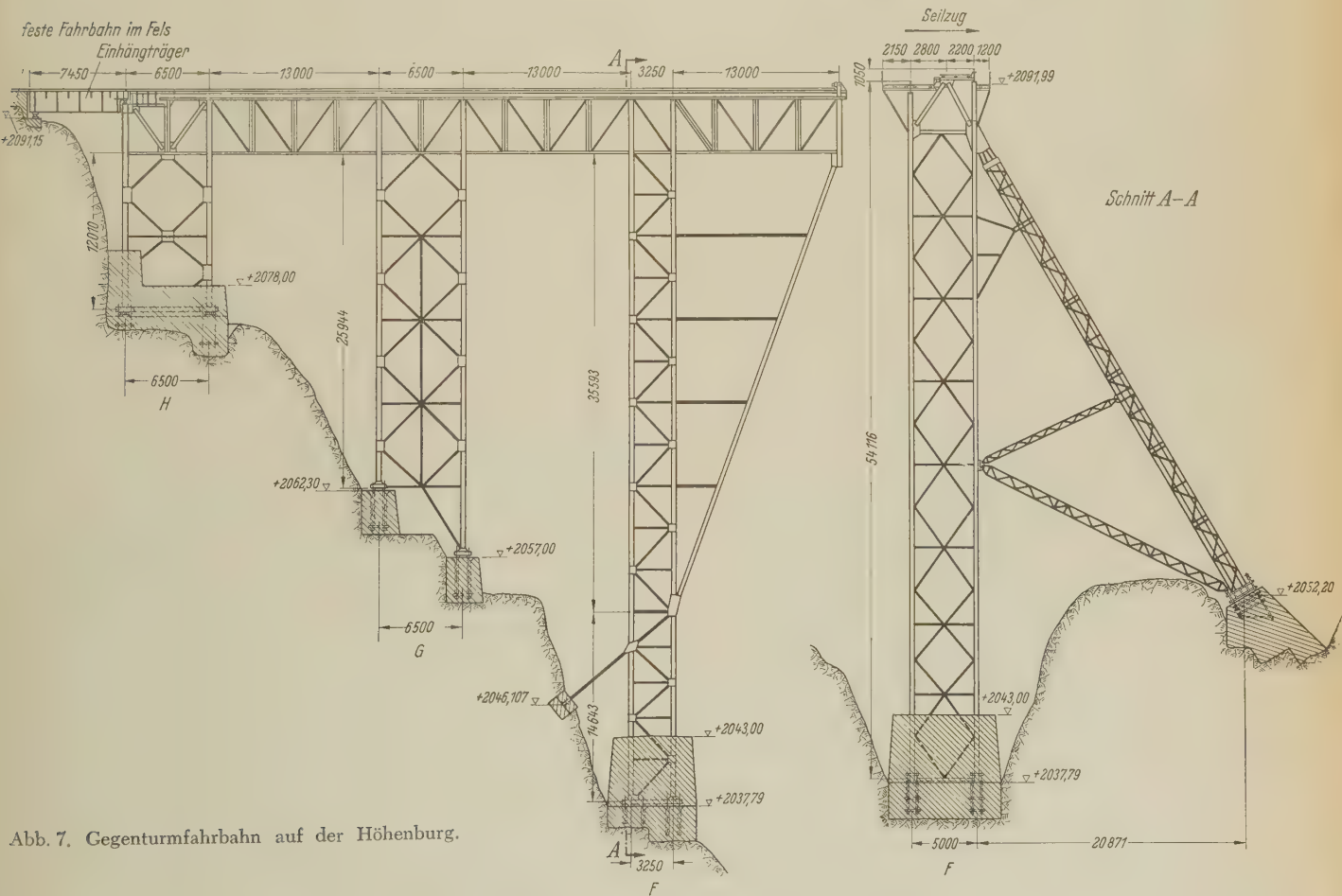


Abb. 7. Gegenturmfahrbahn auf der Höhenburg.

krümmte Schwergewichtsmauer (Kronenhöhe 2037 m) geplant ist. Den östlichen Talausgang bildet der Drossen-graben, der durch eine Gewölbemauer abgeschlossen wird. Knapp nördlich hinter der im Bau befindlichen Mooser-sperre liegt 300 m tiefer der Wasserfallboden, der durch den Bau der Limbergssperre in den Jahren 1948—1951 zu einem Speicherbecken umgewandelt wurde.

Beim Bau der Limbergssperre waren unter anderem auch 3 Bleichert-Kabelkrane von 450 m Spannweite und 8,5 t Tragkraft eingesetzt, welche beim Bau der Mooser-bodensperren wieder verwendet werden. Die „Arbeits-gemeinschaft Sperren Mooserboden“, die von der „Tauern-kraftwerke A.G.“ mit dem Bau der Sperren beauftragt war, entschloß sich, beide Sperren mit Kabelkranen zu betonieren

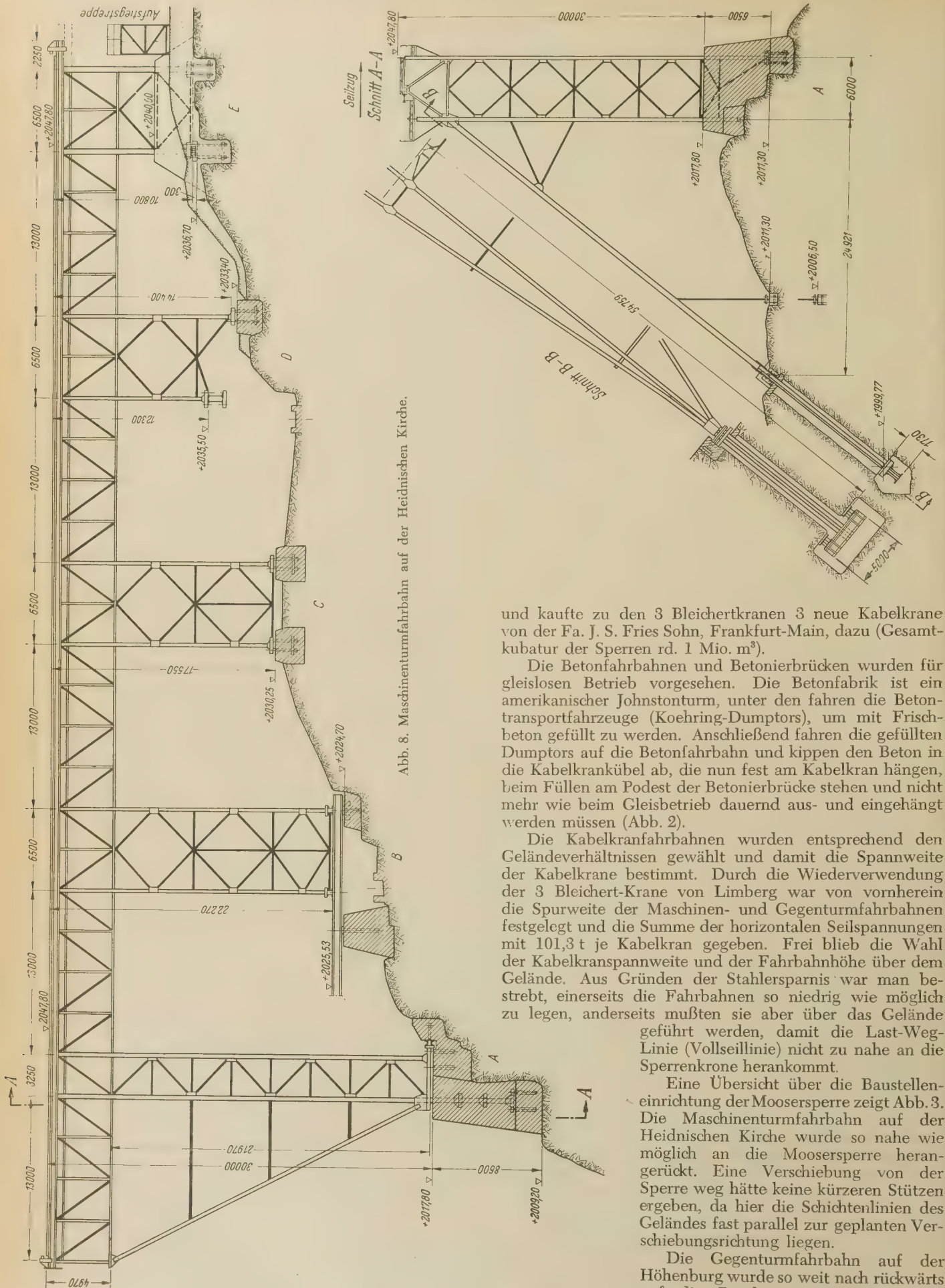


Abb. 8. Maschinenturm fahrbahn auf der Heidnischen Kirche.

und kaufte zu den 3 Bleichertkränen 3 neue Kabelkrane von der Fa. J. S. Fries Sohn, Frankfurt-Main, dazu (Gesamtkubatur der Sperren rd. 1 Mio. m³).

Die Betonfahrbahnen und Betonierbrücken wurden für gleislosen Betrieb vorgesehen. Die Betonfabrik ist ein amerikanischer Johnstonurm, unter den fahren die Betontransportfahrzeuge (Koehring-Dumptors), um mit Frischbeton gefüllt zu werden. Anschließend fahren die gefüllten Dumptors auf die Betonfahrbahn und kippen den Beton in die Kabelkrankübel ab, die nun fest am Kabelkran hängen, beim Füllen am Podest der Betonierbrücke stehen und nicht mehr wie beim Gleisbetrieb dauernd aus- und eingehängt werden müssen (Abb. 2).

Die Kabelkranfahrbahnen wurden entsprechend den Geländeverhältnissen gewählt und damit die Spannweite der Kabelkrane bestimmt. Durch die Wiederverwendung der 3 Bleichert-Krane von Limberg war von vornherein die Spurweite der Maschinen- und Gegenturm fahrbahnen festgelegt und die Summe der horizontalen Seilspannungen mit 101,3 t je Kabelkran gegeben. Frei blieb die Wahl der Kabelkranspannweite und der Fahrbahnhöhe über dem Gelände. Aus Gründen der Stahlersparnis war man bestrebt, einerseits die Fahrbahnen so niedrig wie möglich zu legen, anderseits mußten sie aber über das Gelände geführt werden, damit die Last-Weg-Linie (Vollseillinie) nicht zu nahe an die Sperrenkrone herankommt.

Eine Übersicht über die Baustelleneinrichtung der Moosersperre zeigt Abb. 3. Die Maschinenturm fahrbahn auf der Heidnischen Kirche wurde so nahe wie möglich an die Moosersperre herangerückt. Eine Verschiebung von der Sperre weg hätte keine kürzeren Stützen ergeben, da hier die Schichtenlinien des Geländes fast parallel zur geplanten Verschiebungsrichtung liegen.

Die Gegenturm fahrbahn auf der Höhenburg wurde so weit nach rückwärts auf die Bergkuppe verschoben, daß

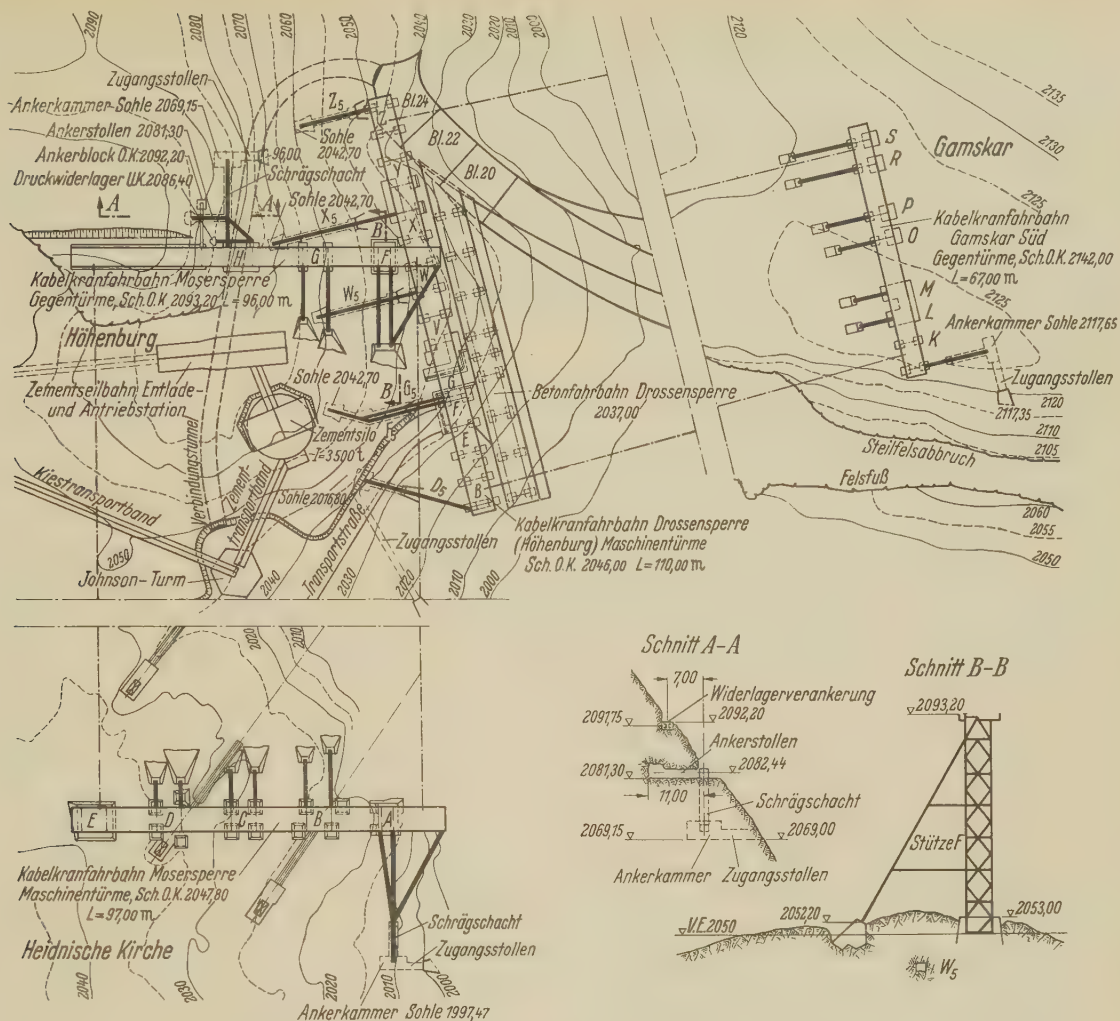


Abb. 9. Übersicht über die Verankerungen der Kabelkranfahrbahnen.

ein Teil der Fahrbahn aus dem Fels ausgesprengt werden konnte. Der größere Teil dieser Fahrbahn mußte allerdings auch durch eine Stahlkonstruktion gebildet werden.

Damit ergibt sich für die fahrbaren Kabelkrane der Moosersperre eine Spannweite von 570 m, das bedingt bei 8,5 t Nutzlast und $H = 101,3$ t einen Durchhang von 27 m in der

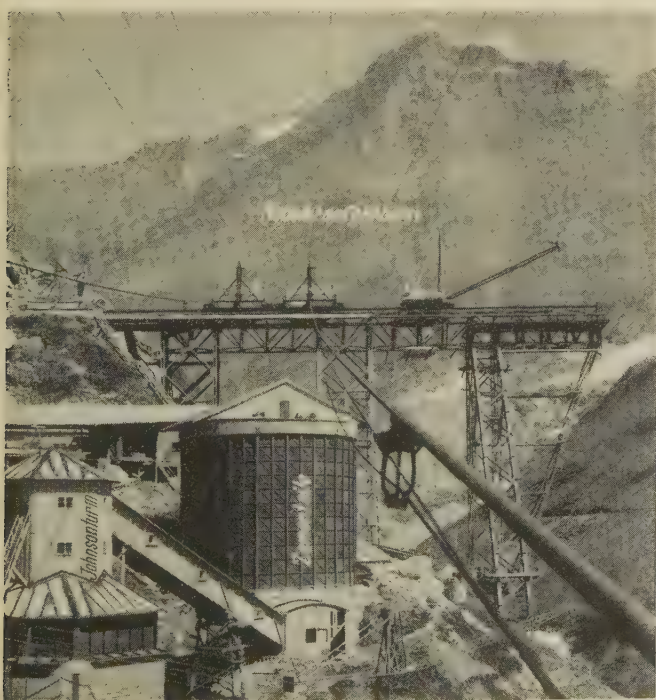


Abb. 10. Gegenturmfahrbahn auf der Höhenburg.



Abb. 11. Montage der Gegenturmfahrbahn auf der Höhenburg.



Abb. 12. Montage der Maschinenturm-fahrbahn auf der Heidnischen Kirche.

Mitte. Die Gegenturm-fahrbahn wurde so hoch gelegt, daß der Kabelkran imstande ist, einen voll beladenen Kübel mit Zement auf das Dach über die Einfüllöffnung des



Abb. 13. Kabelkranfahrbahn Heidnische Kirche.

Zementsilos abzusetzen und bei der Montage und Demontage der Baustelleneinrichtung (Betonfabrik, Silos, Betonierbrücken) mitzuwirken.

Die Betonfahrbahn wurde auf Höhe 2037 (Sperrkronen) angeordnet, der Abnahmepodest für die Betonkübel befindet sich auf Höhe 2035. Auf der Höhenburg befindet sich der Schwerpunkt der Baustelleneinrichtung (Abb. 4). Eine Übersicht über die Baustelleneinrichtung der Drossensperre zeigt Abb. 5. Für die Kabelkrane der Drossensperre wurde am Gamskar die Gegenturm-fahrbahn angeordnet, wobei aber die aufgestellte Stahlbrücke nicht die Bedienung der ganzen Sperre ermöglicht. Es mußte noch nördlich der Stahlbrücke eine Gegenturm-fahrbahn im Fels ausgeschossen werden (Gamskar-Nord).

von 11,5 m ausgebildet sind, wurden zufolge ungleicher Belastung verschieden ausgeführt. Die Stützen sind K-Fachwerke mit vergitterten Stehern. Die bergseitige Auflagerung der Hauptträger erfolgt direkt auf dem Betonfundament, wo auch die Brücke verankert ist. Zur Aufnahme der Horizontalkräfte wurden Horizontalverbände vorgesehen, die in der Höhe der Ober- bzw. Untergurte der Hauptträger liegen. Die Fahrbahnplatte, bestehend aus 15 cm-Schotter, 5 cm-Verschleißbohlen und 20 cm-Tragbohlen, liegt auf 3 Längsträgersträngen sowie auf den Hauptträgerobergurten direkt auf.

Für die Berechnung wurden folgende Belastungsannahmen gemacht: Nutzlast 4 Betonfahrzeuge (Koehring-Dumpton) je 15 t Gesamtgewicht in ungünstigster Laststellung ($\varphi = 1,1$) wirkend auf die Fahrbahn sowie 4 Betonkübel mit je 8,5 t in 9 m Abstand ($\varphi = 2,0$) wirkend auf den Verladepodest. Seitenstöße und Bremskräfte 10 % der gesamten Vertikalbelastung ohne Stoßziffer. Windkräfte bei belasteter Brücke 160 kg/m², bei unbelasteter Brücke 260 kg/m². Berechnungsgrundlagen ÖNORM B 4300, 1. u. 2. Teil.

Die zweijährige Betriebserfahrung zeigt, daß das System der Brücke nicht zweckmäßig gewählt wurde. Beim Anfahren der Betonfahrzeuge an die Rampe und Abkippen des Betons in den Kübel kommt die Brücke in Seitenschwingungen. Die Brücke wurde nachträglich mit Seilen abgespannt, welche die Schwingungen gut dämpfen. Zweckmäßig wäre es gewesen, statt der scheibenförmigen Pendelstützen Gittertürme anzuordnen und diese mit den Hauptträgern möglichst steif zu verbinden, also ein hochgradig statisch unbestimmtes System zu schaffen. Ein solches System wäre gegen Schwingungen infolge Fahrzeugstoßes unempfindlicher gewesen.

Kabelkranfahrbahnen der Moosersperre auf der Heidnischen Kirche und Höhenburg.

Für die Moosersperre ergab sich der Abstand der beiden Kabelkranbahnstränge mit 570 m, wobei die Schienenoberkante der inneren Gleisträger bei der Heidnischen Kirche

Die Maschinenturm-fahrbahn auf der Höhenburg wurde so dicht wie möglich an die Gegenturm-fahrbahn der Moosersperre herangeschoben, so daß unter dem Kragarm die Kabelkrane gerade noch durchfahren können. Vor der Kabelkranfahrbahn wurde entsprechend die Betonfahrbahn geplant, von der aus die Kübel gefüllt und aufgenommen werden. Die Kübelaufnahme ist rd. 10 m vor der Tragseilaufhängung des Kabelkranes entfernt, was als Mindestmaß bezeichnet werden kann.

Betonierbrücke der Moosersperre.

Die stählerne Brücke, ausgeführt mit Fahrbahn oben, besteht aus 2 Hauptträgern in Fachwerkkonstruktion in einem Abstand von 9 m, verbunden durch 7 Querträger. Der Kübelpodest liegt in der Höhe der Hauptträgeruntergurte auf einseitig auskragenden Querträgern, die zusammen mit den Fahrbahnquerträgern die Querversteifung der Brücke bilden (Abb. 6). Die Hauptträger, die als Fachwerkdurchlaufträger über 3 Felder mit der Feldweite

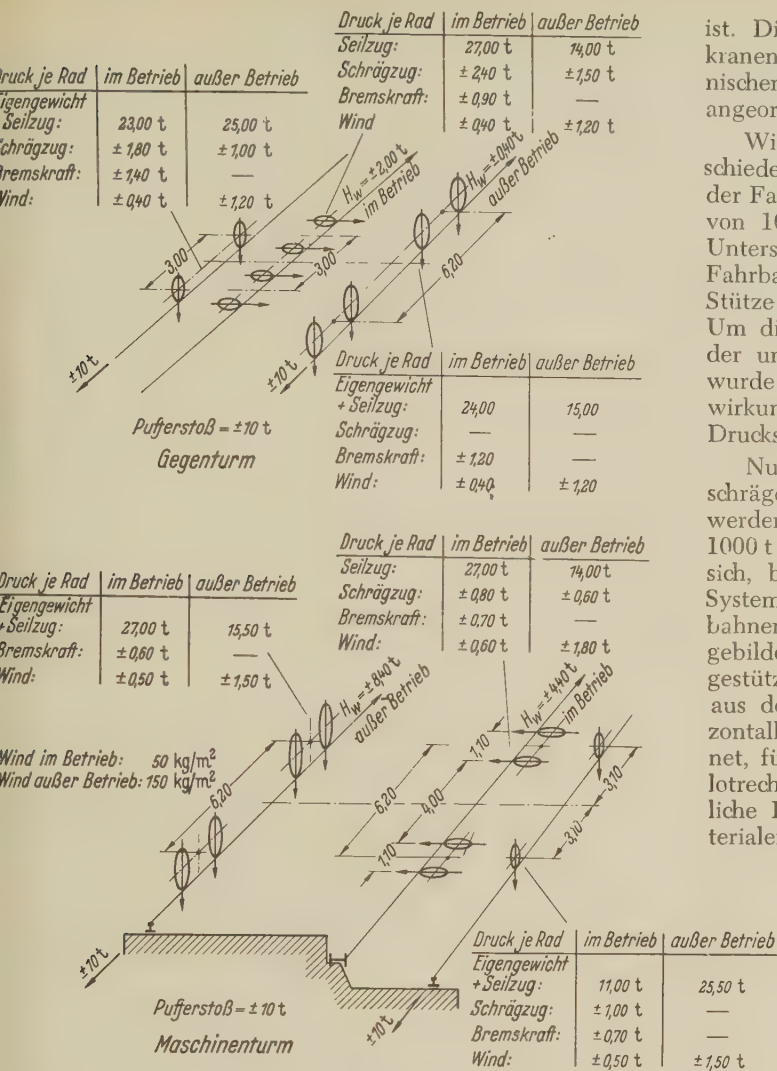


Abb. 14. Belastungsschema.

auf Kote 2047,80 und auf der Höhenburg auf Kote 2093,20 zu liegen kommt. Die gesamte Fahrbahnlänge der Kranbahn Heidnische Kirche beträgt rd. 97 m, die Fahrbahnlänge auf der Höhenburg rd. 96 m, wobei 62 m als Gerüstbrücke und der Rest als feste Fahrbahn im Fels ausgeführt

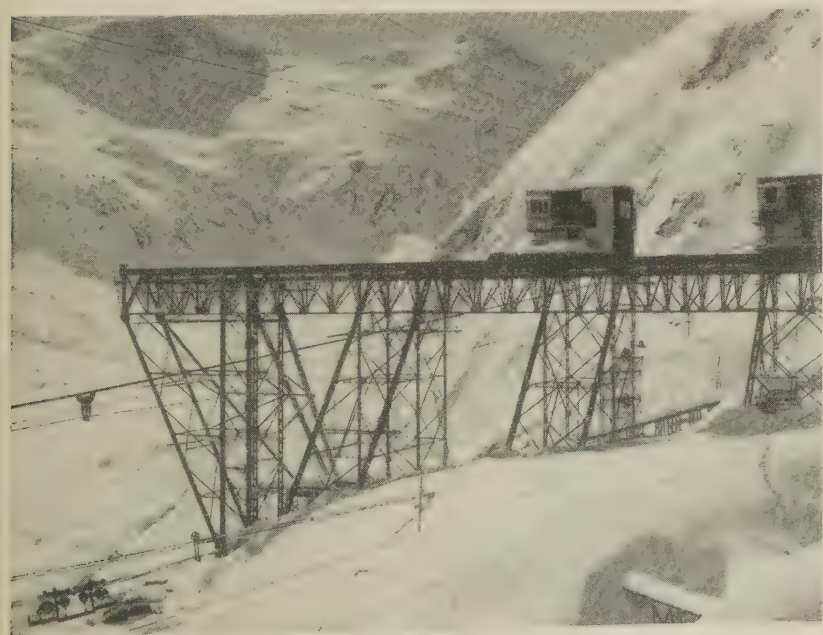


Abb. 15. Kabelkranfahrbahn Heidnische Kirche. Februar 1952.

ist. Die beiden Kranbahnstränge werden von 4 Kabelkranen befahren. Die Maschinentürme sind auf der Heidnischen Kirche, die Gegentürme auf der Höhenburg angeordnet.

Wie aus Abb. 7 u. 8 ersichtlich, sind die Höhenunterschiede innerhalb der Kabelkranbereiche beträchtlich. Bei der Fahrbahn Heidnische Kirche ergeben sich Stützhöhen von 10,8 m bis 30,0 m. Bei der Höhenburg sind diese Unterschiede noch größer. Vom Anschluß an der festen Fahrbahn fällt das Gelände derart steil ab, daß bei der Stütze F eine Pfeilerhöhe von rd. 55 m erforderlich wird. Um die teuren Ankerstollen möglichst zu vermeiden und der unsicheren Zugaufnahme beim Felsen zu entgehen, wurde beim Entwurf getrachtet, die horizontale Lastwirkung bei den Pfeilern so weit wie möglich durch schräge Druckstrebenwände aufzunehmen.

Nur dort, wo es das Gelände nicht zuließ, mußten schräge Zugstreben oder horizontale Anker angeordnet werden, welche ihre Zugkraft in der Größe von 500 bis 1000 t in den Felsen absetzen (Abb. 9). Dadurch ergab sich, besonders auf der Höhenburg, ein kompliziertes System von Zug- und Druckankern. Bei beiden Kranbahnen mußten die wasserseitigen Teile als Kragträger ausgebildet werden, deren Enden gegen die Gerüstpfeiler abgestützt sind. Die Gestalt der Brückenträger ergab sich aus der Form der Kabelkrane. Zur Aufnahme der Horizontalkräfte ist ein waagrechter Fachwerkträger angeordnet, für die lotrechten Lasten ein innerer und ein äußerer lotrechter Fachwerkgleisträger. Die Pfeiler sind als räumliche Fachwerke durchgebildet, einerseits wegen der Materialersparnis, andererseits wegen der größeren Steifigkeit

und Sicherheit gegen Resonanz bei Lastschwingungen. (Lotrechte Schwingungen der Seile beim Abbremsen der Betonkübel, besonders groß bei Stromausfall und plötzlichem Bremsen.) Abb. 10 zeigt die Gegenturm-fahrbahn auf der Höhenburg. Die Fahrbahnmontage, welche im Hochgebirgswinter 1951/52 durchgeführt wurde, zeigt Abb. 11. Abb. 12 und Abb. 13 sind Montagebilder von der Fahrbahn auf der Heidnischen Kirche, welche vom Sommer 1951 bis Frühjahr 1952 montiert wurde.

Die Belastung der Fahrbahn besteht aus den Seilzügen, aus den möglichen Schrägzügen und aus den Bremskräften. Hinzu kommt noch der Wind auf den Kran und die Gerüstbrücke und das Eigengewicht. Die Auflagerkräfte der Kranlasten werden durch 4 horizontale Rollen in den Horizontalträger, durch 4 lotrechte Rollen in den inneren Gleisträger und durch 2 lotrechte Rollen in den äußeren Gleisträger übertragen (Abb. 14). Sämtliche Auflagerkräfte der Krane werden mit der Ausgleichsziffer $\psi = 1,4$ multipliziert. Die Horizontalkomponente der Seilkraft beträgt je Kran rd. 110 t, bei 4 Kranen ergibt das eine Horizontallast von $4 \cdot 1,4 \cdot 110 = 616$ t. Außerdem wurde die Kranbahn noch für eine in der Längsrichtung der Bahn wirkende Komponente des Seilzuges bei einer Schrägstellung von 6° gegen die Winkelrechte zur Kranbahn bemessen. Die Bremskraft wurde mit $\frac{1}{7}$ der auf die waagrechten, bremsbaren Rollen wirkenden Raddrücke in Rechnung gestellt. Der Betriebswind wurde mit einem Staudruck von 50 kg/m² und für den Katastrophenfall von 150 kg/m² angenommen und dabei die c-Beiwerte entsprechend DIN 1050 berücksichtigt.

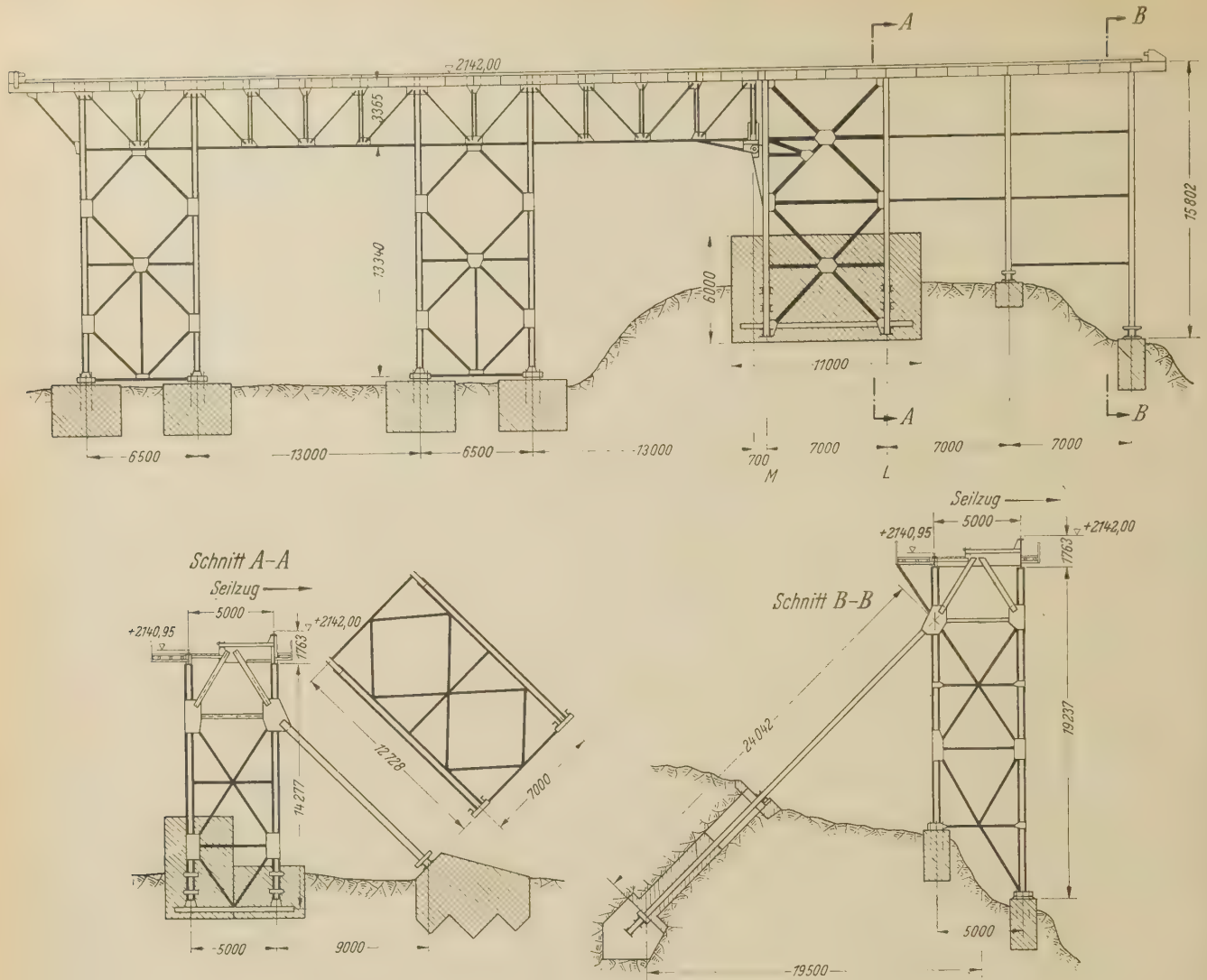


Abb. 16. Kabelkranfahrbahn Gamskar.

Die Laufstege zu beiden Seiten der Kranbahn wurden für eine Verkehrslast von 200 kg/m^2 bemessen. Da größere Schneelasten und Betrieb nicht gleichzeitig auftreten können, wurde keine Schneelast gerechnet. Da jedoch die Bauwerke im Sommer einer starken Sonnenbestrahlung und im Winter sehr niedrigen Temperaturen ausgesetzt sind, wurde die Gerüstbrücke so durchgebildet, daß die Dehnung in der Längsrichtung keinen wesentlichen Einfluß

äußern kann, in der Querrichtung wurden bei den Gerüstpfeilern Temperaturunterschiede von $\pm 35^\circ$ in Rechnung gestellt. Die Kabelkranfahrbahnen und deren Pfeiler wurden als räumliche Fachwerke ausgebildet.

Die Fahrbahn Heidnische Kirche besteht aus dem räumlichen Fachwerk der Brücke und 5 Gerüstpfeilern (A, B, C, D und E). Der Achsabstand der Pfeiler B, C, D und E wurde mit $19,5 \text{ m}$ gewählt und die Pfeilerbreite in der Längsrichtung der Bahn mit $6,5 \text{ m}$ angenommen. Die freie Stützweite der Bahn beträgt somit $13,0 \text{ m}$. Entsprechend den Geländeverhältnissen mußte die Stütze A in der Längsrichtung der Bahn mit der halben Breite, d. i. $3,25 \text{ m}$, ausgebildet werden. Der $13,0 \text{ m}$ weit wasserseitig auskragende Teil bei der Stütze A wird durch eine Schrägwand gegen das Fundament der Stütze A abgestützt.

Die Geländeverhältnisse ließen bei den Stützen B, C und D schräge Druckstrebenwände zu. Bei der Stütze A mußte eine schräge Zugstrebenanordnung gewählt werden. Die kurze Stütze E wurde ohne Abstreben ausgebildet. Diese Stütze wurde auch als Festpunkt in der ganzen Konstruktion gewählt und für die Aufnahme der in der Längsrichtung wirkenden horizontalen Kräfte bemessen.

Die Stützen B, C und D wurden als feste Turmstützen montiert und erst nach Fertig-



Abb. 17. Kabelkranfahrbahn Gamskar. Der Vorbaukran montiert einen Gegenturm.

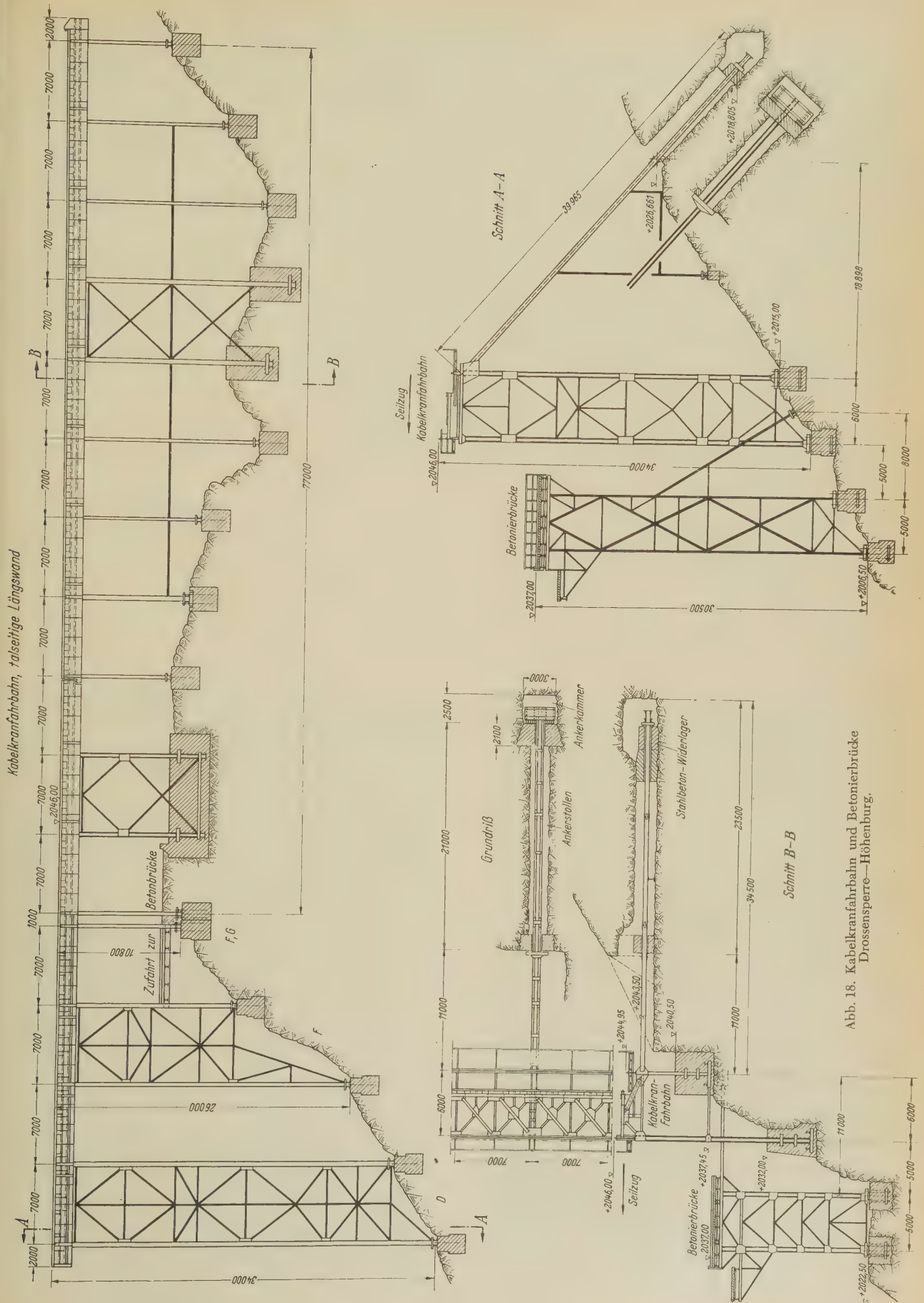




Abb. 19. Montage der Kabelkran- und Betonfahrbahn Drossensperre.

stellung der Brücke in der Längsrichtung der Fahrbahn in Pendelstützen umgewandelt, um den Temperatureinfluß auszuschalten. Bei der schlanken Stütze A war eine Umformung aus Temperaturgründen nicht erforderlich.

Die Gegenturm-fahrbahn auf der Höhenburg wurde sinngemäß ausgeführt. Die Kräfte in der Längsrichtung der Stahlfahrbahn werden vom Felsen der festen Fahrbahn aufgenommen. Die Schrägstreben F und G konnten als Druckstreben ausgebildet werden. Die Fahrbahn auf

der Heidnischen Kirche (Abb. 15) wiegt 450 t, Länge 97 m, Gewicht 4,65 t/m.

Die Fahrbahn auf der Höhenburg wiegt 408 t, Länge der Stahlkonstruktion 63 m, Gewicht 6,5 t/m.

Kabelkranfahrbahnen der Drossensperre am Gamskar und auf der Höhenburg.

Die Kabelkranfahrbahnen der Drossensperre sind durch die Wiederverwendung der Fahrbahnen von Limberg, welche wasserseitig angeordnet wurden, gekennzeichnet.

Die Gamskarfahrbahn (Abb. 16 u. 17) besteht daher aus zwei verschiedenen Teilen, die sich im statischen System unterscheiden. Der wasserseitige Teil, zum größten Teil aus der alten Limbergkonstruktion bestehend, ist ein durchlaufender Vollwandträger über 3 Felder mit je 7 m Spannweite, der auf Pendelstützen gelagert ist. Daran schließt sich, gelenkig aufgelagert, eine Fachwerkträgerkonstruktion an, die sinngemäß mit denselben Stützweiten und statischen Verhältnissen wie auf der Höhenburg bzw. Heidnischen Kirche ausgebildet wurde. Die Aufnahme der Horizontalkräfte aus den Seilzügen erfolgt durch Zug- und Druckstreben. Die Turmstütze L—M nimmt alle Kräfte auf, die in der Längsrichtung der Fahrbahn auftreten. Der größere Teil der Fahrbahn mußte auf einer lockeren Schutthalde gegründet werden, so daß zur Aufnahme der bedeutenden Zugkräfte und um die Bodenpressung klein zu halten (2 kg/cm^2) große Betonfundamente nötig waren. Die Neukonstruktion der Kabelkran-



Abb. 20. Montage der Kabelkranfahrbahn Drossensperre auf der Höhenburg.



Abb. 21. Montage von Betonierbrücken, Kabelkranfahrbahn und Kabelkranen auf der Höhenburg.

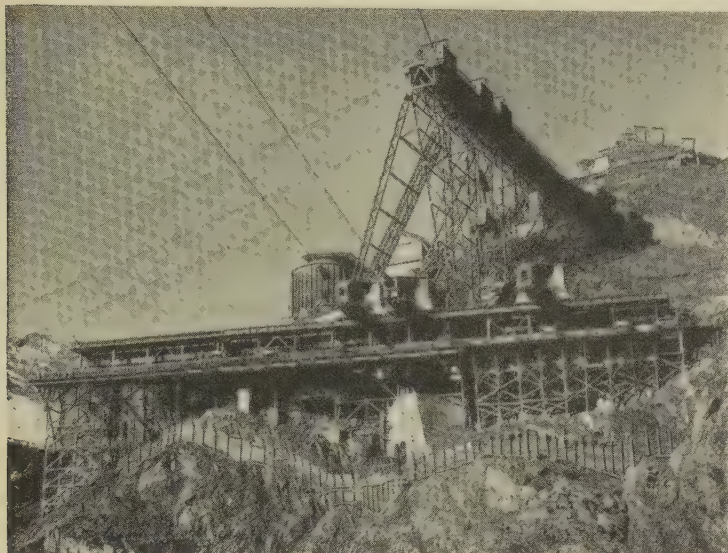


Abb. 22. Beton- und Kabelkranfahrbahn der Drossensperre.

fahrbahn Gamskar wiegt 264 t, die wiederverwendete Alt-konstruktion von Limberg 46 t, daher Gesamtgewicht 310 t. Bei einer Länge von 67 m ergibt das 4,62 t/m.

Die Schienenoberkante liegt auf Höhe 2142 m, damit ist die Gamskarfahrbahn die höchstgelegene Baustelleneinrichtung am Mooserboden.

Die Kabelkranfahrbahn Drossensperre—Höhenburg (Abb. 18) sollte ursprünglich von der Stütze D bis zur Stütze G reichen. Die konstruktive Ausbildung dieses Bereichs war bereits vorgegeben, da die Fahrbahnbrücken aus den wiederzuverwendenden Teilen der Stahlkonstruktion der Kabelkranfahrbahn Limberg-Ost bestehen sollte.

Infolge geänderter Geländebeziehungen (Felssturz) mußte die nördliche Fortsetzung der Bahn, die ursprünglich auf festem Fels liegen sollte, ebenfalls in Stahl gemacht werden.

Das Tragsystem für die lotrechten Gleisträger besteht wasserseitig aus einem durchlaufenden Träger mit $4 \cdot 7 = 28$ m Stützweite, der auf den Turmstützen D und E aufgelagert ist. Die anschließende Neukonstruktion ist ein durchlaufender Träger über $3 \cdot 7$ m, an dem sich ein durchlaufender Träger von $8 \cdot 7$ m gelenkig anschließt.

Die Längskräfte in der Bahn werden durch 2 feste Böcke aufgenommen. Um die Seilzugkräfte aufzunehmen, ist die Fahrbahn nach rückwärts mit Zugstreben verankert, die infolge der Steilheit der Felswand waagrecht in den Felsen hineingeführt werden konnten. Die Stützen sind als Pendelsäulen ausgebildet. Die Bahn hat eine gesamte Länge von 110 m und wiegt 492 t Neukonstruktion und 61 t Altkonstruktion, zusammen 553 t, das ergibt ein Gewicht von 5 t/m.

Abb. 19 zeigt den Montagebeginn der Fahrbahn Drossensperre—Höhenburg, Abb. 20 die Montage des wasserseitigen Teiles dieser Fahrbahn, wobei rechts ein fertiges Teilstück der Betonfahrbahn zu sehen ist.

Betonierbrücke Drossensperre.

Die Betonierbrücke der Drossensperre besteht so wie die der Moosersperre aus einer Fahrbahnplatte, die auf durchlaufenden Längsträgern gelagert ist. Die Längsträger ruhen auf Stützböcken auf, die auch eine Auskrugung für den Kübelpodest tragen. Der Abstand dieser Stützenwände beträgt in der Längsrichtung 10 m. Die Belastungsannahmen sind dieselben wie bei der Betonierbrücke der Moosersperre. Bei dieser Brücke hatte man den Vorteil, daß man sie mit horizontalen Ankern an der Felswand zusätzlich verhängen konnte (Abb. 18), so daß sie sich im Betrieb als sehr steif erwies. Die Montage der Betonierbrücke wurde mit einem Turmdrehkran durchgeführt (Abb. 21), der auf dem bereits fertigen Brückenstück fuhr und auch die Montage der daneben parallel verlaufenden Kabelkranfahrbahn durchführte. Hinter ihm fuhr ein zweiter Turmdrehkran, der die Maschinentürme der Kabelkrane montierte.

Firmenverzeichnis:

Bauherr: Tauernkraftwerke A.G., Zell am See.

Limbergssperre	}	Arbeitsgemeinschaft Kraftwerk Kaprun
Möllstollen		
Druckstollen	}	Arbeitsgemeinschaft Sperren Mooserboden.
Sperren am		
Mooserboden	}	J. S. Fries-Sohn, Frankfurt/Main.
Kabelkrane		
Betonbrücke der	}	Stahlbau E. Mayer u. Co., Wien.
Moosersperre		
Kabelkranfahrbahnen	}	Stahlbau Waagner-Biro A.G., Wien—Graz.
Betonbrücke		
Silos	}	
Wasserbehälter		

Baustoffbedarf genagelter Vollwand-Bretterbinder.

Von Prof. Dr.-Ing. A. Troche, Techn. Hochschule Hannover.

A. Allgemeines.

Nach den Veröffentlichungen über Nagelbinder in Der Bauhelfer (1947, 1948 u. 1950) gingen Zuschriften mit Anregungen und Wünschen ein. Nachstehend werden diejenigen Anliegen im Rahmen des Möglichen erfüllt, die eine einfache übersichtliche Ermittlung des Baustoffbedarfs genagelter Vollwand-Bretterbinder erstrebten.

Wenn eine solche Bedarfsermittlung praktischen Wert haben soll, muß sie ausführbar sein, ohne daß eine konstruktive Vorarbeit nötig ist und ohne nennenswerte Rechenarbeit zu erfordern. Dieses Ziel wird am besten durch die Benutzung einfacher praktischer Faustformeln oder aber durch die Verwendung von Bildtafeln erreicht, die man nur in einem bestimmten Richtungssinne zu durchfahren braucht, um am Ende der Fahrtstrecke den gesuchten Bedarfswert (oder Bedarfs-Hilfswert) unmittelbar abzulesen. Nachstehend werden eine solche Bildtafel für den Holzbedarf und zweckmäßige Faustformeln für die Nagelzahl aufgestellt. Tafel und Formeln sind zunächst

für den Regelfall gleichförmiger Belastung q eines Trägers auf zwei Stützen vorgesehen, können aber angenähert auch für andere Belastungen verwendet werden, wenn an Stelle von q mit dem Maximalmoment $\max M$ gerechnet wird. Statt mit der theoretischen Stützweite l wird hier mit der lichten Spannweite l_i operiert, damit man die in den Grundrißplänen vorliegenden Lichtweiten nicht erst umzurechnen braucht.

Die Holzbedarfstafel gilt für alle drei Querschnittsformen nach Abb. 1, also für „einsinnig“ (nicht kreuzweis) verbretterte Träger mit üblicher Querschnittsgestaltung, wobei B stets die gesamte Gurtbreite — im Querschnitt gemessen ($B = \sum b$) — und N die Tragkraft eines Nagels bezeichnen; $\sum t$ bedeutet die Summe aller Stegdicken, die zur Querschnittsbreite B nicht hinzuzurechnen ist. Das Durchbiegungsverhältnis wird mit l/f bezeichnet und muß mindestens den Wert 400 aufweisen. Die ganze Trägerhöhe sei H genannt. — Grundsätzlich gelten die Tafeln allgemein, d. h. für wirtschaftliche und für unwirtschaft-

liche Ausführungsmöglichkeiten mit der einzigen Bedingung, daß die Gurthöhe h stets den als durchweg wirtschaftlich nachgewiesenen Wert

$$h \approx H/5$$

aufweist und Obergurt = Untergurt sein soll.

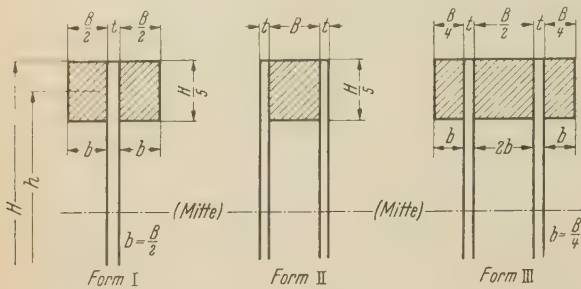


Abb. 1 Querschnittsformen.

Zur Anwendung der Tafeln und Formeln ist die Kenntnis folgender 7 Bestimmungsgrößen nötig (Abb. 2):

1. Lichtweite l in Metern,
2. Belastung q in t/lfd. m Binder,
3. Trägerhöhe H in Metern,
4. Form des Querschnittes (I, II oder III),
5. Stegdicke t in cm,
6. Stegbrett-Breite e in Metern,
7. Tragkraft N eines Nagels (in Tonnen).

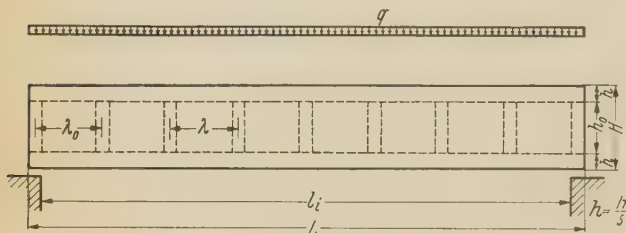


Abb. 2 Trägerschema.

Die Wahl dieser 7 Werte ist ohne konstruktive Vorarbeit leicht möglich, wozu folgende Bemerkungen dienen mögen.

Die Spannweite l_i ergibt sich aus dem Grundriß, desgleichen ist die Belastung q gemäß dem Trägerabstand und je nach dem vorliegenden Bauzweck vorbedingt. Die Trägerhöhe H wählt man nicht zu niedrig, und zwar mindestens zu $l_i/12$, besser $\geq l_i/10$. Das zugehörige Durchbiegungsverhältnis l/f und die nötige Gurtbreite $B = \Sigma b$ ergeben sich ohne Rechnung aus der Holzbedarfstafel selbst. Die Stegdicke t wählt man in der Regel so schwach wie möglich, d. h. im Hochbau (2 bis 2,4 bis 3 cm (äußerst 4 cm). Auch die Wahl der Trägerform ist einfach:

Form I ist am wirtschaftlichsten bis $B=16$ cm,

Form II ist steifer und von $B=16$ cm an auch wirtschaftlicher,

Form III ist eine bloße Verdoppelung von Form I; man wählt sie, wenn man infolge schwerer Belastung q in der Tafel eine zu ungünstige oder keine Lösung mehr findet, indem man dann mit $q/2$ rechnet und die sich dabei ergebenden Bedarfswerte hernach verdoppelt. — Die Stegbrett-Breiten werden gewöhnlich zu $e=0,14$ m angenommen. Die Bretter der beiden Stege von Form II und III sollen gleichartig gerichtet, also nicht kreuzweis angeordnet sein.

Damit bleibt nur noch die Wahl der Nagelstärke. Diese ist durch die DIN-Vorschriften so eng an die Holzstärken gebunden, daß man sie am einfachsten fertig aus einer Zusammenstellung entnimmt, die in den Nagelungstabellen wiedergegeben ist und für die üblichen Holzmaße unter Einhaltung der Vorschriften alle überhaupt möglichen Konstruktionsfälle darstellen.

Sie sind nach der Gurtbreite b (bzw. B) geordnet und nach der Stegdicke t unterteilt. Allgemein sind die Lösungen mit dünnen Stegen und kleinen Nägeln am billigsten, also in jeder Gruppe der Nageltafeln

bei einschnittigen Anschlüssen die oberen Lösungen,

bei zweischnittigen Anschlüssen die linken Lösungen.

Wie man sieht, sind damit alle 7 Bestimmungsgrößen rasch und einfach festzulegen. Die Benutzung der Holzbedarfstafel wird im folgenden Abschnitt B kurz beschrieben und an Hand zweier Zahlenbeispiele erläutert, desgleichen in Abschnitt C die Nagelzahl-Formeln. Im Abschnitt D werden dann die theoretischen Grundlagen dargelegt. Der Genauigkeitsgrad der Tafel ist ausreichend: Fehlerbereich annähernd ± 5 v. H., natürlich noch ohne Zuschläge für Verschnitt oder sonstige Verluste, die hinzugefügt werden müssen. Es sei bemerkt, daß selbstverständlich die erschwere amtl. Bestimmung berücksichtigt ist, jedes Brettende mit mindestens 4 (einschnittig gedachten) Nägeln anzuschließen (auch wenn die Anschließkraft noch so klein ist); sie hat u. a. zur Folge, daß für die Bestimmung der Nagelzahl zwei verschiedene Faustformeln aufgestellt werden mußten, von denen aber — ohne erst probieren zu müssen — immer nur die eine benötigt wird.

B. Die Holzbedarfstafel und ihre Anwendung.

Das Schema der Tafel für den Holzbedarf ist in Abb. 3 angedeutet. Die Tafel besteht aus einer linken und rechten Hälfte, jede aus einem unteren und oberen Teil. Die linke Tafelhälfte ist eine bildliche Wiedergabe der Querschnitts-Bemessungstafel in (Bauhelfer 1947) H. 1 bzw. der Tafel in H. 13, so daß man darauf nicht zurückzugreifen braucht, sondern mit der hier gebrachten Bedarfstafel zugleich auch die Querschnittsbemessung vornehmen kann.

Man beginnt am linken Rand des unteren Teiles, indem man nach obigen Angaben H wählt, geht nach rechts zu der Geraden l_i (wobei man senkrecht darunter den dazugehörigen Durchbiegungswert l/f zur Kenntnis nimmt), dann weiter nach oben zur Belastungskurve q und von dort nach rechts und findet auf der Mittelsenkrechten den er-

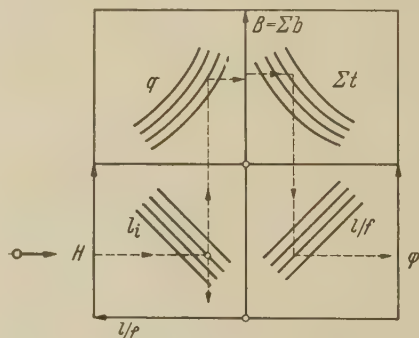


Abb. 3. Schema der Tafelanwendung.

forderlichen Wert B (z. B. 7,4 cm, man wähle hier also $B=8$ cm).

Damit ist der linke Tafelteil erledigt und wir gehen zu dem rechten Tafelteil über: Von dem gewählten Wert B aus geht man nach rechts zur Stegkurve Σt , von dort nach unten zu derjenigen Geraden l/f , deren Wert wir vorhin als dazugehörig zur Kenntnis genommen hatten, und schließlich nach rechts, wo wir den Hilfswert φ finden (z. B. $\varphi=0,82$). Dann ist der gesamte Holzbedarf

$$V = \varphi \cdot (B \cdot H \cdot l_i) \text{ in m}^3,$$

wobei man alle Werte in m einsetzen muß.

Zur Bemessung sei noch nachgetragen, daß die durch die Holzbedarfstafel ermittelten Werte B und Σt gemäß der gewählten Querschnittsform (I, II oder III) aufzuteilen sind. Hierzu ein

Zahlenbeispiel. Gegeben seien $l_i = 7,0$ m und $q = 1,55$ t/m; gewählt werde $H = 0,90$ m. Von diesem Wert aus geht man nach rechts zu $l_i = 7$ m (wobei man $l/f = 600$ zur Kenntnis nimmt), weiter nach oben zu $q = 1,55$ t/m und findet rechts $B = 9,6$ cm. Wir wählen nun Form I, also $B = 2 \cdot 5$ cm und nehmen an, daß für den Steg nur 2,6 cm starke, $e = 0,14$ m breite Bretter verfügbar seien. — Nunmehr gehen wir von $B = 10$ cm in die rechte Tafelhälfte zur Kurve $t = 2,6$ cm, dann nach unten bis zu $l/f = 600$ (s. oben) und finden rechts davon $\varphi = 0,916$. Also wird der Holzbedarf

$$V = 0,916 (0,10 \cdot 0,90 \cdot 7,0) = 0,58 \text{ m}^3 \text{ Holz.}$$

Dies ist der gesamte Holzbedarf eines Binders (Curte + Stegbretter + Vertikalsteifen), jedoch ohne Auflager-schwelle (oder -sattel) und ohne Verschnittzuschlag. — Hätte man jedoch nur $t = 2$ cm starke Stegbretter verfügbar gehabt, dann ergäbe sich statt dessen $\varphi = 0,853$, also $V = 0,54 \text{ m}^3$ Holz.

C. Die Nagelbedarfsformeln.

Wie im folgenden Abschnitt abgeleitet wird, ergeben sich für die erforderliche Nagelanzahl eines Trägers unterschiedliche Bedingungen und damit 2 verschiedene FormelAusdrücke, je nachdem die Stegbretter breiter oder schmaler als

$$e_0 = 2 N_{(1)} / q$$

gewählt werden, worin $N_{(1)}$ die Tragkraft eines einschnittig beanspruchten Anschlußnagels und q die Trägerbelastung/lfd. m bezeichnet. Die Formeln für die Nagelanzahl ergeben dann für eine gewählte

Brettbreite $e \geq e_0$ eine Nagelanzahl

$$n_{(1)} \approx 10 \cdot \max M / H N_{(1)} + 5,66 H / e,$$

Brettbreite $e \leq e_0$ eine Nagelanzahl

$$n_{(1)} \approx 9 \cdot \max M / H N_{(1)} + 2,97 l_i / e,$$

worin $\max M$ das maßgebende Biegemoment des Trägers bezeichnet.

Führen wir das im vorigen Abschnitt gebrachte Zahlenbeispiel hier weiter, so hätten wir nun zunächst die Wahl der Nagelstärke zu treffen. Entscheiden wir uns für

einschn. beanspruchte Nägel, dann erhält man nach Taf. I: 34/90. Nägel,

zweischn. beanspruchte Nägel, dann erhält man nach Taf. III: 42/110. Nägel, da ja bereits $b = 5,0$ cm; $t = 2,6$ cm (und $e = 0,14$ m) bestimmt bzw. gewählt waren.

Im 1. Fall (34/90) wird $N_{(1)} = 45,0$ kg = 0,045 t, also $e_0 = 2 \cdot 0,045 / 1,55 = 0,058$ m,

im 2. Fall (42/110) wird $N_{(1)} = \frac{1}{2} N_{(2)} = 62,5$ kg = 0,0625 t, also $e_0 = 2 \cdot 0,0625 / 1,55 = 0,081$ m.

Da $e = 0,14$ m gewählt war, ist in beiden Fällen $e > e_0$, so daß hier (wie meistens) die erste Formel gültig ist.

Mit $\max M = 1,55 \cdot 7,0^2 / 8 = 9,5$ tm erhält man demnach die gesuchte Nagelanzahl

im 1. Fall:

$$n_{(1)} = \frac{10 \cdot 9,5}{0,9 \cdot 0,045} + 5,66 \frac{0,90}{0,14} = 2346 + 36 = 2382 \text{ Nägel } 34/90,$$

im 2. Fall:

$$n_{(1)} = \frac{10 \cdot 9,5}{0,9 \cdot 0,0625} + 5,66 \frac{0,90}{0,14} = 1688 + 36 = 1724 \text{ Nägel } 42/110.$$

Da aber die 42/110-Nägel zweischnittig beansprucht werden, benötigt man im 2. Falle nur $1724/2 = 862$ Nägel mit einem Gewicht von rd. 10,35 kg, während im 1. Fall ein Nagelgewicht von rd. 15,3 kg auftreten würde, dazu kommt die größere Einschlage-Arbeitszeit.

D. Grundlagen des Verfahrens.

1. Was zunächst die Trägerlänge L betrifft (Abb. 2), so zeigten Nachprüfungen von Ausführungen und Projekten folgende Maßverhältnisse bei Holzträgern

$$L : l_i \approx 1,08 \text{ für Fachwerke} \\ \approx 1,05 \text{ für Vollwandträger;}$$

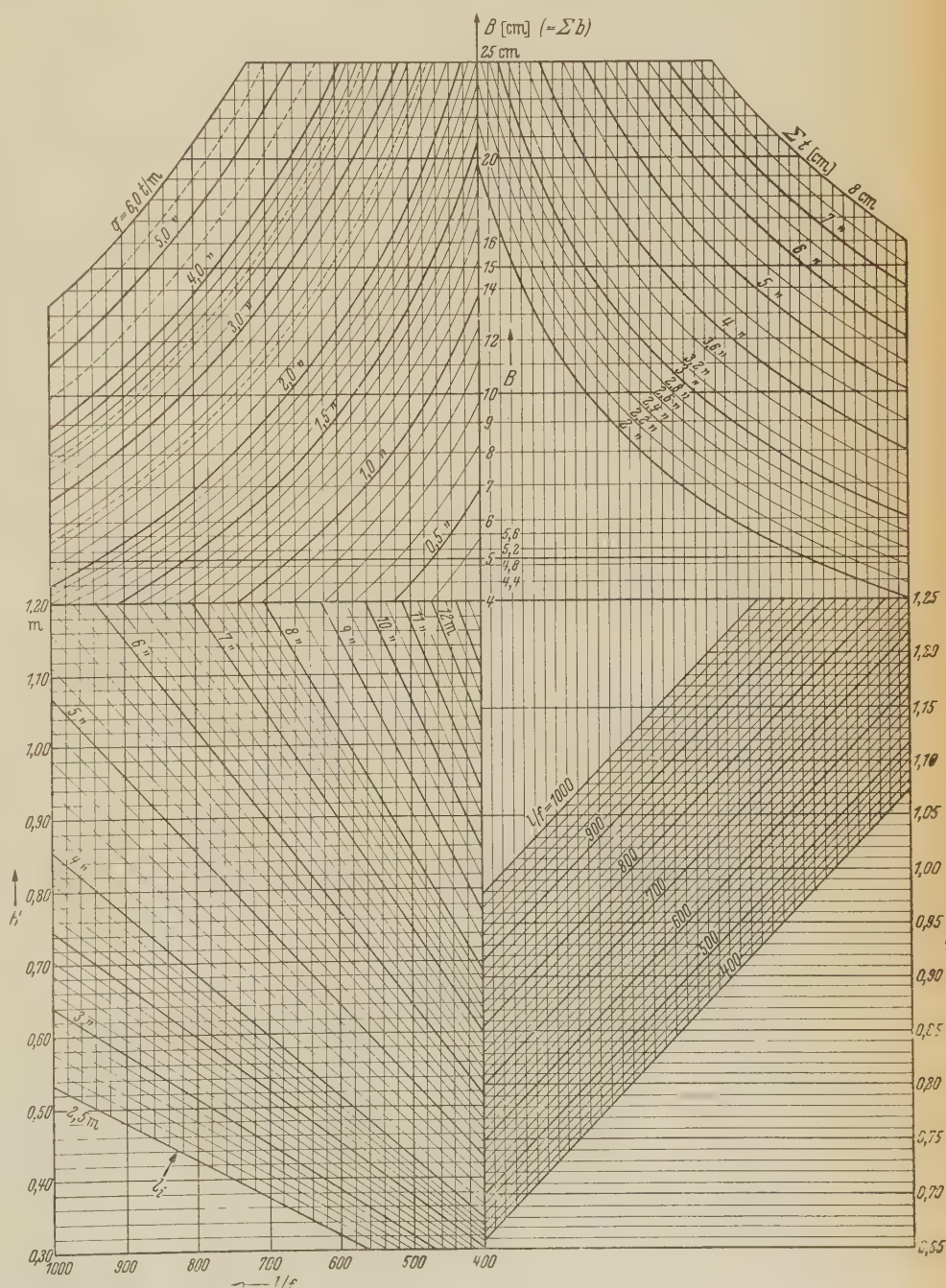
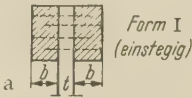


Abb. 4. Bemessungstafel für Querschnittsmaße und Holzbedarf.

Nagelungstabellen

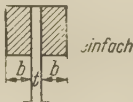
A. Tragfähigkeit (einschnittig N_1 , zweischnittig $N_2 = 2 N_1$)

Bezeichnung	N_1	Bezeichnung	N_1	Bezeichnung	N_1	Bezeichnung	N_1
28/65	30,0 kg	38/100	52,5 kg	55/140 u. 55/160	95 kg	75/230	160 kg
31/70	37,5 kg	42/110	62,5 kg	60/180	110 kg	80/260	175 kg
34/90	45,0 kg	46/130	72,5 kg	70 210	145 kg		

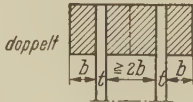


B. Einschnittige Anschlüsse

b [cm]	t [cm]	Nägel	b [cm]	t [cm]	Nägel	b [cm]	t [cm]	Nägel	B beliebig aber	t [cm]	Nägel
2,2 bis 4,0	2,2	28/65	(5,0) bis 8,0	5,0	46/130	(6,5) bis 12	6,0	60/180	mind. 2,5 cm	2 bis 2,2	28/65
2,4 bis 4,5	2,4	31/70	(5,0) bis 9,0	5,0	55/140	(6,5) bis 11	6,5	60/180	mind. 3 cm	2 bis 2,4	31/70
									mind. 5 cm	2 bis 2,8	34/90
2,6 bis 4,5	2,0	28/65	5,5 bis 7,0	2,0	34/90	(7,0) bis 11	7,0	60/180			
2,6 bis 4,5	2,2	31/70	5,5 bis 7,5	2,4	38/100				mind. 5,5 cm	2,4 bis 3,5	38/100
			5,5 bis 8,0	2,8	42/110	7,5 bis 10	3,0	46/180	mind. 6 cm	2,4 bis 4	42/110
3,0 bis 5,0	2,0	31/70	5,5 bis 8,0	3,0	42/110	7,5 bis 12	5,5	70/210	mind. 7 cm	3 bis 5	46/130
3,5 bis 6,0	2,8	34/90	5,5 bis 9,0	4,0	46/130	(7,5) bis 14	7,0	70/210			
(3,5) bis 6,5	3,5	38/100	5,5 bis 9,5	4,5	55/140	(7,5) bis 13	7,5	70/210			
			(5,5) bis 8,5	5,5	55/140	(8,0) bis 13	8,0	70/210	mind. 6 cm	4 bis 6	55/140
4,0 bis 6,0	2,6	34/90	(5,5) bis 10	5,5	55/160	(8,0) bis 15	8,0	75/230	mind. 6 cm	5 bis 6	55/160
(4,0) bis 7,0	4,0	42/110				8,5 bis 14	6,5	70/210	mind. 7 cm	5,5 bis 7	60/180
			6,0 bis 8,0	2,6	42/110	8,5 bis 15	7,5	75/230			
4,5 bis 6,5	2,4	34/90	(6,0) bis 8,0	6,0	55/140	9,5 bis 15	6,0	70/210	mind. 9 cm	6 bis 8	70/210
4,5 bis 7,0	2,8	38/100	(6,0) bis 10	6,0	55/160	9,5 bis 16	7,0	75/230	mind. 9 cm	7 bis 8	75/230
4,5 bis 7,5	3,5	42/110							mind. 10 cm	8 cm	80/260
(4,5) bis 8,5	4,5	46/130	6,5 bis 9,5	3,5	46/130	11 bis 18	8,0	80/260			
			6,5 bis 10	4,0	55/140	zweckmäßig: Ausführungen mit kleinen Nägeln () : unwirtschaftlich					
5,0 bis 6,5	2,2	34/90	6,5 bis 11	5,0	55/160						
5,0 bis 7,0	2,6	38/100									



Stegverbretterung



C. Zweischnittige Anschlüsse

b [cm]	t [cm]	Nägel	t [cm]	Nägel	t [cm]	Nägel	t [cm]	Nägel
bis °2,5	2	28/65	2,2	31/70	—	—	—	—
2,6	2	31/70	2,2	31/70	—	—	—	—
bis °3	2	31/70	—	—	—	—	—	—
3,5	2 bis 2,6	34/90	—	—	—	—	—	—
4	2 bis 2,5	34/90	2,4 bis 3	38/100	3 bis 3,5	42/110	—	—
4,5	2 bis 2,2	34/90	2,4 bis 2,6	38/100	2,6 bis 3	42/110	3,5 bis 4	46/130
°5	2	34/90	2,4 bis 2,5	38/100	2,6 bis 3	42/110	3 bis 4	46/130
°5,5	2,6	42/110	3 bis 3,5	46/130	4	55/140	4,5 bis 5	55/160
6	3 bis 3,5	46/130	4	55/140	4 bis 5	55/160	6	60/180
6,5	3	46/130	4 bis 5	55/160	5,5	60/180	—	—
°7	3	46/130	4 bis 4,5	55/160	5,5	60/180	6,5	70/210
7,5	—	—	4	55/160	6 bis 6,5	70/210	7,5	75/230
°8	—	—	4	55/160	6 bis 6,5	70/210	6,5 bis 7,5	75/230
9	—	—	6	70/210	6,5 bis 7	75/230	7 bis 8	80/260
10	—	—	6,5	75/230	7 bis 8	80/260	—	—
11	—	—	7 bis 7,5	80/260	—	—	—	—
12	—	—	7	80/260	—	—	—	—

wirtschaftlich

° be-onders wirtschaftlich

unwirtschaftlich

die theoretische Stützweite l liegt etwa mittig zwischen der Lichtweite l_i und der ganzen Länge L . Demnach wurde der folgenden Untersuchung die Beziehung

$$L : l : l_i = 1,05 : \sqrt{1,05} : 1 \quad (1)$$

zugrunde gelegt. Da es sich hier um Bedarfsermittlungen für Entwurfsarbeiten handelt, dem projektierenden Architekten und Ingenieur wohl die lichten Raummaße, also die Weite l_i , nicht aber die theoretischen Stützweiten l unmittelbar vor Augen liegen, so wurden unter Ansatz von Gl. (1) alle Angaben auf l_i als Grundmaß bezogen.

2. Die Querschnittshöhe H und damit auch das Durchbiegungsverhältnis $l/f \geq 400$ bleibt grundsätzlich frei wählbar, damit jede Anpassung an lokale Bedingungen im zulässigen Rahmen möglich ist; die Gurthöhe h wird jedoch entsprechend der in H. 13 (1947) gewonnenen Erkenntnis unveränderlich zu

$$h = H/5 \quad (2)$$

festgelegt, wodurch die theoretische „Netzhöhe“ $h_n = 0,8 H$ und die lichte Pfostenlänge $h_0 = 0,6 H$ wird (wir beschränken uns hier auf Ausführungen mit parallelen Gurten; bei leichter Schrägstellung des Obergurtes für Dachbinder kann überschlägig eine mittlere Trägerhöhe angenommen werden).

3. Der Abstand a der Aussteifungspfosten wird zweckmäßig zu

$$a \approx H$$

gewählt. Im Normalfall symmetrischer Vollast wähle man die Felderzahl geradzahlig, was bei der Bestimmung des Abstandes $a \approx H$ zu berücksichtigen ist. — Die Pfostenabmessungen betreffend wurde eine Reihe von Konstruktionsfällen durchgeprüft und dabei gefunden, daß in der Regel die Pfostenstärke s (in der Trägeransicht) durch die Bedingung festgelegt ist, daß in der Berührungsfläche mit den Gurten höchstens eine Spannung $\sigma_{\perp} = 20 \text{ kg/cm}^2$ auftreten darf. Damit erhält man am Pfosten x (im Abstand x vom Auflager) die Pfostenstärke

$$s_x = Q_x / B \sigma_{\perp} \quad (3)$$

und es ergibt sich für die Gesamtheit aller Pfosten die Gesamtbreite

$$\sum s_x = \sum Q_x / B \sigma_{\perp}$$

Um am Querkraftnullpunkt einen Wechsel der Stegbrettrichtung vornehmen zu können, wird dort ein Wechselfpfosten angeordnet. Bezeichnet man mit n die Anzahl der Stegfelder links oder rechts des Querkraftnullpunktes (Balkenmitte), dann erhält man für $\sum Q_x$ den Ausdruck (Abb. 4)

$$\sum_{x=0}^{2n} Q_x = 2(Q_0 + Q_1 + \dots + Q_w)$$

und nach dem Strahlennetz die Beziehungen

$$Q_1 = \frac{2n-1}{2n} Q_0; Q_2 = \frac{2n-3}{2n} Q_0; \dots; Q_{w-1} = \frac{3}{2n} Q_0; Q_w = \frac{1}{2n} Q_0$$

und somit die Summe

$$\begin{aligned} \sum Q_x &= 2 \left(Q_0 + \sum_{x=1}^n Q_x \right) = \\ &= 2 Q_0 \left\{ 1 + \frac{1}{2n} [1+3+\dots+(2n-3)+(2n-1)] \right\} = Q_0(n+2). \end{aligned}$$

Damit wird die Summe der Pfostenbreiten zu

$$\sum s_x = Q_0(n+2) / B \sigma_{\perp} \quad (4)$$

worin hier $Q_0 \approx q \cdot L/2$ anzusetzen ist.

4. Der **Holzbedarf** wird in der Form des Volumens

$$V = \varphi \cdot (B \cdot H \cdot l_i) \quad (5)$$

angesetzt, d. h. es wird rechnerisch ein voller Holzkörper aus den 3 bekannten Trägerabmessungen B , H und l_i (in m)

zugrunde gelegt, und dann ermittelt, mit welchem Abminderungsbeiwert φ dieser gedachte Holzkörper zu multiplizieren ist, um das gesuchte wahre Volumen — also den Holzbedarf in m^3 — zu erhalten. Formelmäßig wird das Volumen zu

$$V = \underbrace{2 \cdot h \cdot B \cdot L}_{(2 \text{ Gurte})} + \underbrace{m \cdot t \cdot H \cdot L}_{(m \text{ Stege})} + \underbrace{\frac{2}{3} \cdot H \cdot B \cdot s_x}_{(\text{Pfostensumme})}$$

wobei der Mehrverbrauch an Pfostenholz infolge der Gurtanschlüsse (mittels Versatzungen oder Knaggen) durch Vergrößerung der Pfostenlänge von $0,6 H$ auf $\frac{2}{3} H$ angenähert berücksichtigt wird. Man erhält

$$V = 2 \cdot 0,2 \cdot 1,05 \cdot B H l_i + 1,05 m \frac{t}{B} B H l_i + \frac{2(n+2)}{3 \sigma_{\perp}} H Q_0$$

und daraus

$$\varphi = 0,42 + 1,05 \cdot m \cdot \frac{t}{B} + \frac{n+2}{30} \cdot \frac{Q_0}{B l_i} \quad (6)$$

Gl. (6) läßt sich noch vereinfachen. Setzt man $Q_0 = q L/2$ und genügend genau $n \approx L/2 H$, so erhält man mit

$$\frac{l}{H} \left(= \frac{1}{\eta} = \frac{E}{2 k \sigma (l/f)} \right) = \frac{4800}{l/f} \quad \text{und mit} \quad \frac{q}{B} \left(= \frac{16 k^2 \sigma^3 (l/f)^2}{3 E^2} \right) =$$

$$= \frac{(l/f)^2}{172 800} \quad (\text{a. a. O. 1947, Heft 1, S. 15}) \quad \text{die Gleichung}$$

$$\begin{aligned} \varphi &= 0,42 + 1,05 \cdot \frac{\sum t}{B} + \frac{L/H + 4}{120} \cdot \frac{q L}{B \cdot l_i} \\ &= 0,42 + 1,05 \cdot \frac{\sum t}{B} + \frac{l/f (1230 + l/f)}{4 937 143} \end{aligned}$$

der Wert φ liegt gewöhnlich in dem Bereich

$$0,7 < \varphi < 1,0,$$

so daß der Holzbedarf für erste grobe Überschlüsse auch durch die Faustformel

$$V \approx 0,85 \cdot B \cdot H \cdot l_i \quad (6a)$$

geschätzt werden kann.

5. **Nagelbedarf.** Bezeichnet $N_{(1)}$ die Tragkraft eines Nagels (bei einschnittiger Beanspruchung $N_{(1)}$, bei Zweischnittigkeit jedes Nagels also $N_{(2)} = 2 \cdot N_{(1)}$) und bedeutet $\sum N$ die durch Nägel aufzunehmende gesamte Anschlusskraft, so ergibt sich die Anzahl der erforderlichen Nägel zu

$$n_{(1)} = \sum N / N_{(1)} \quad \text{bzw.} \quad n_{(1)} = \sum N / N_{(1)} \quad (7)$$

Wir untersuchen den Gurt und die einzelnen Pfosten gesondert.

I. Gurt. Die vorliegende Untersuchung beschränkt sich auf den Normalfall des gleichförmig belastet gedachten Balkens auf 2 Stützen, bei dem die Querkraftlinie ein verschränktes Dreieck bildet, so daß am Auflager große Querkräfte und damit viele Nägel auftreten, während in Spannweitenmitte $Q=0$ wird, also die erforderliche Nagelzahl theoretisch bis auf 0 abfällt. Bestimmungsgemäß muß aber jedes Brett an seinen beiden Enden bei einschnittiger Nagelbeanspruchung mindestens mit je 4 (einschnittig gedachten) Nägeln an die Gurte und Pfosten angeschlossen werden. Wir benötigen also die Kenntnis der Stelle, bis zu welcher im Balkenmittelteil alle Bretter mit je 4 einschnittigen Nägeln an jedem Ende zu befestigen sind. Wird die dort wirksame Querkraft mit Q_y bezeichnet, dann kommt die von dort nach der Balkenmitte zu weitergeführte Nagelung mit je 4 einschnittigen Nägeln je Anschluß auf dasselbe hinaus, als ob die Querkraftlinie von dieser Stelle ab die konstante Größe Q_y behielte. Der Flächeninhalt der so gewonnenen erweiterten Q -Fläche entspricht dann der gesamten tatsächlich verfügbaren Nagelkraft, so daß man nur mit dieser Gesamtfläche zu rechnen braucht, um die durch die Bestimmung verursachte Unstetigkeit (d. h. die Unstimmigkeit zwischen theoretisch erforderlicher und bestimmungsgemäß vorhandener Nagelkraft) zu berücksichtigen.

An beliebiger Stelle x des Gurtes beträgt die durch (einschnittig beanspruchte gedachte) Nägel aufzunehmende Kraft je Brett (Brettbreite e)

$$N_x = \frac{2 Q_x e}{h_n \sin 2\alpha}, \quad (8)$$

also auf die Gurtlänge dx bezogen.

$$dN_x = \frac{\sin \alpha}{e} \cdot \frac{2 e Q_x dx}{h_n \sin (2\alpha)} = \frac{Q_x \cdot dx}{h_n \cos \alpha},$$

und somit vom Auflager bis zum Querkraftnullpunkt die Kraft

$$N_0 = \frac{\int Q_x dx}{h_n \cos \alpha} = \frac{F_Q}{h_n \cos \alpha}. \quad (9)$$

Für die Unstetigkeitsstelle y findet sich in entsprechender Weise die Kraft

$$N_y = \frac{2 Q_y \cdot e}{h_n \sin (2\alpha)}$$

je Brett, die durch 4 (einschnittig beanspruchte) Nägel/Brett aufzunehmen ist:

$$4 N_{(1)} = 2 \frac{e}{h_n} \cdot \frac{Q_y}{\sin (2\alpha)}.$$

Mittels des Strahlensatzes ergibt sich die Beziehung

$$y = \frac{l_i}{2} \cdot \frac{Q_y}{Q} = \frac{h_n \cdot l_i}{e} \cdot \frac{N_{(1)}}{Q} \sin (2\alpha), \quad (10)$$

also nach Gl. (9) die Kraft

$$N_0 = \frac{\frac{1}{2} \cdot Q \frac{l_i}{2} + \frac{1}{2} Q_y \cdot y}{h_n \cdot \cos \alpha} = \frac{\frac{Q l_i}{4} + \frac{Q}{l_i} \cdot y^2}{h_n \cdot \cos \alpha} = \left\{ 1 + \left[2 \frac{h_n}{e} \cdot \frac{N_{(1)}}{Q} \cdot \sin (2\alpha) \right]^2 \right\} \cdot \frac{Q \cdot l_i}{4 \cdot h_n \cdot \cos \alpha}.$$

Somit ist für beide Gurte insgesamt die Nagelzahl

$$n_{(1)}^G = \frac{4 N_0}{N_{(1)}} = \left[\frac{Q}{N_{(1)}} + 4 \frac{N_{(1)}}{Q} \cdot \frac{h_n^2}{e^2} \cdot \sin^2 (2\alpha) \right] \cdot \frac{l_i}{h_n \cdot \cos \alpha} \quad (11)$$

erforderlich. Berücksichtigt man den wertmäßig meist unbedeutenden zweiten Summanden in der Klammer durch eine geringe Vergrößerung des ersten, so erhält man die einfache Näherungslösung

$$n_{(1)}^G \approx \frac{q \cdot L^2}{2 N_{(1)} \cdot h_n \cdot \cos \alpha} \approx \frac{q \cdot l_i^2}{N_{(1)} \cdot H}. \quad (11a)$$

II. Pfosten.

a) Außenpfosten. Sie wirken wie Obergurtverlängerungen zum Auflager hin, da die Stegbrett-Zugkräfte sie ebenfalls voll belasten. Infolge der Stegbretteigung ergibt sich die Anschlußkraft zu

$$N_A = \frac{Q_1}{\sin \alpha} = \frac{2n-1}{2n} \cdot \frac{Q_0}{\sin \alpha}.$$

Damit sind (auf ganze Trägerhöhe)

$$n_A = \frac{N_A}{N_{(1)}} = \frac{2n-1}{2n \sin \alpha} \cdot \frac{Q_0}{N_{(1)}} \quad (12)$$

einschnittig gedachte Nägel je Außenpfosten erforderlich.

b) Wechselfpfosten am Querkraftnullpunkt (in Feldmitte). Da hier mit dem Querkraftvorzeichen die Stegbrettrichtung wechselt, sind von beiden Teilen her die Stegbrettenden anzuschließen. Für jede Brettrichtung ist eine Anschlußkraft

$$N_W = \frac{P}{2} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} = \frac{2}{2n} \frac{Q_0}{\sin \alpha} = \frac{Q_0}{2n \sin \alpha}$$

vorhanden (worin $P = Q_0 - Q_1 = Q_1 - Q_2 = \dots$ bedeutet).

Sie ist bei der vorausgesetzten verteilten Trägerbelastung fast immer so klein, daß nach DIN 1052, § 16 c 3 jedes Stegbrett mit (mindestens) 4 einschnittig beanspruchte Nägel anzuschließen ist. Somit erfordert der Wechselfpfosten je Brettrichtung

$$n_W = 4 \cdot \frac{H}{e/\cos \alpha} = 4 \frac{H}{e} \cos \alpha \quad (13)$$

Nägel.

c) Zwischenpfosten. An diesen wirkt sich nur der Querkraftunterschied der beiden benachbarten Stegfelder aus, so daß je Zwischenpfosten eine Anschlußkraft

$$N_Z = P (= Q_1 - Q_2)/\sin \alpha = Q_0/n \sin \alpha$$

vorliegt. Über den Pfosten führen insgesamt $\frac{H}{e/\cos \alpha}$ Stegbretter hinweg, so daß jedes einzelne Stegbrett die anteilige Kraft

$$N_{(e)} = N_Z e/H \cos \alpha$$

aufzunehmen hat. Hierzu können wiederum ≥ 4 Nägel/Stegbrett statisch nötig sein, so daß im Hinblick auf § 16 c 3 diejenige Grenzbreite e_0 der Stegbretter zu ermitteln ist, die gerade für 4 einschnittig beanspruchte Nägel ausreichen würde:

$$4 N_{(1)} = N_Z e_0/H \cos \alpha$$

und daraus

$$e_0 = 2n \sin (2\alpha) N_{(1)} H/Q_0 \quad (14)$$

Mit $Q_0 = qL/2$, $\alpha = 45^\circ$ und $a \approx H$ (also mit $n \approx L/2H$) wird daraus

$$e_0 \approx 2 N_{(1)}/q. \quad (14a)$$

Somit benötigt man je Zwischenpfosten bei einer Stegbrettbreite

$$e \geq e_0 \text{ die Nagelanzahl } n_z = \frac{Q_0}{n \cdot N_{(1)} \cdot \sin \alpha}, \quad (15a)$$

$$e \leq e_0 \text{ die Nagelanzahl } n_z = 4 \frac{H}{e} \cos \alpha. \quad (15b)$$

d) Summe aller Pfosten. Insgesamt werden für alle Pfosten

$$n_{(1)}^{Pf} = 2n_A + 2n_W + 2(n-1)n_Z \quad (16)$$

Nägel benötigt. Setzt man hierin die Gl. (12), (13) u. (15) ein, so erhält man mit den Annäherungen $Q_0 = qL/2$; $\alpha = 45^\circ$ und $n = L/2H$ die Nagelzahl für die Stegbrettbreiten

$$e \geq e_0 \text{ zu } n_{(1)}^{Pf} \approx \sqrt{2} \left[(2L - 3H) \frac{q}{N_{(1)}} + 4 \frac{H}{e} \right], \quad (16a)$$

$$e \leq e_0 \text{ zu } n_{(1)}^{Pf} \approx \sqrt{2} \left[(L - H) \frac{q}{N_{(1)}} + 2 \frac{L}{e} \right], \quad (16b)$$

so daß zwei verschiedene Bedarfsformeln zu entwickeln sind. Zu diesem Zwecke werden die Gl. (16a) und (16b) mit Gl. (11a) zusammengefaßt und durch Umformung noch vereinfacht:

1. Gesamtnagelzahl für $e \geq e_0$:

$$\begin{aligned} n_{(1)} &= \frac{q l_i^2}{H \cdot N_{(1)}} + \sqrt{2} \left[(2L - 3H) \frac{q}{N_{(1)}} + 4 \frac{H}{e} \right] \\ &= \frac{q \cdot l_i}{N_{(1)}} \left[\left(\frac{l_i}{H} + 2,97 - 4,24 \frac{H}{l_i} \right) + 5,66 \cdot \frac{H \cdot N_{(1)}}{q \cdot e \cdot l_i} \right] \\ n_{(1)} &\approx 1,28 \frac{q l_i^2}{H \cdot N_{(1)}} + 5,66 \frac{H}{e}. \end{aligned} \quad (17a)$$

Schreibt man Gl. (17a) in der Form

$$n_{(1)} \approx \frac{10 M_{\max}}{H \cdot N_{(1)}} + 5,66 \frac{H}{e}, \quad (18a)$$

so ergibt sie eine einfache Faustformel für den Nagelbedarf von Bretterbindern mit beliebiger Belastung, wobei $M_{\max}$ das größte Biegemoment des Trägers bezeichnet auf die lichte Stützweite bezogen (wofür aber genau genug auch die theoretische Stützweite gewählt werden kann). Der 2. Teil der Gl. (18a) enthält die Nagelzahl für Pfosten mit 4 Nagelanschlüssen je Stegbrett gemäß DIN-Vorschrift, d. h. hier nur für den Wechselfpfosten.

2. Gesamtnagelzahl für $e \leq e_0$:

$$n'_{(1)} = \frac{q l_i^2}{H \cdot N_{(1)}} + \sqrt{2} \left[(L - H) \frac{q}{N_{(1)}} + 2 \frac{L}{e} \right]$$

$$= \frac{q l_i}{N_{(1)}} \left[\left(\frac{l_i}{H} + 1,45 - 1,41 \frac{H}{l_i} \right) + 2,97 \frac{N_{(1)}}{e \cdot q} \right]$$

$$n'_{(1)} \approx 1,14 \frac{q l_i^2}{H \cdot N_{(1)}} + 2,97 \frac{l_i}{e} \quad (17b)$$

bzw. $n'_{(1)} \approx 9 \frac{H_{\max}}{H \cdot N_{(1)}} + 2,97 \frac{l_i}{e} \quad (18b)$

Das 2. Glied der Formel betrifft wiederum alle Pfosten mit 4 Nägeln je Brettanschluß gemäß DIN-Vorschrift, d. h. hier alle Zwischenpfosten einschl. Wechselfpfosten.

Die Gl. (18) sind dimensionsgerecht. Werden durchweg zweischnittig beanspruchte Nägel verwendet, dann ist nur die halbe Nagelzahl erforderlich:

$$n_{(2)} = n_{(1)}/2. \quad (19)$$

Bandförderanlagen für den Baubetrieb.

Von Prof. Dr.-Ing. A. Vierling, Hannover.

Förderbänder werden im Baubetrieb in der Form von tragbaren und fahrbaren Anlagen seit langem und in steigendem Maße mit wirtschaftlichem Erfolg zum Einsatz gebracht. Die bemerkenswerte Entwicklung, die diese Geräte in der letzten Zeit erfuhren, kann auch in diesem Jahr wieder an den Ausstellungsstücken auf der Hannoverischen Industriemesse genügend verfolgt werden. Über „Sonderformen von leichten Förderbändern“ wurde übrigens vor kurzem in dieser Zeitschrift berichtet [1].

Die Anwendung von Bandförderanlagen größerer Abmessungen im Baubetrieb ist in Europa jedoch noch in den Anfängen begriffen. Sie setzt große Massenbewegungsaufgaben voraus, wie sie bei großen Kies-Aufbereitungs- und Betonieranlagen und bei weiträumigen Erdbewegungen zu lösen sind. Für solche Fälle halten die Hersteller von Bandförderern heute Anlagenformen bereit, die dem letzten Stand der Bandfördertechnik entsprechen und auch die besonderen Anforderungen des Baubetriebs erfüllen. Diesen Stand im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten der Anlagen im Baubetrieb aufzuzeigen, soll der Zweck dieser Abhandlung sein.

Die während der Bauzeit ortsfest zu verlegenden Gurtförderer — z. B. für die Massenbetonaufbereitung — unterscheiden sich in ihren Einzelheiten kaum von den Transportanlagen, die sonst für Massengutbewegungen benutzt werden, etwa innerhalb einer Kohlen- oder Erzumschlaganlage. Von der Bauindustrie wird dabei zusätzlich die Forderung nach Wiederverwendbarkeit an einer anderen

Baustelle gestellt. Sie ist erfüllbar durch eine Gestaltung aus leicht auf- und abbaubaren Transporteinheiten, durch Verwendung gleicher Tragrollen- und Gurtabmessungen, gleicher Umlenk- und Spannvorrichtungen und gleicher oder wenigstens baukastenartig veränderbarer Antriebe. Von den Bandförderanlagen, die im Erdbau die Massenbewegungen durchführen sollen, sind diese

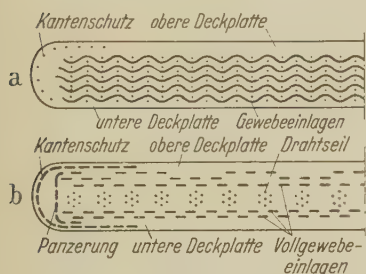


Abb. 1. Querschnitte durch Gummifördergurte. a) Gummigurt mit Textilgewebeeinlagen. b) Gummigurt mit Drahtseileinlage (Stahlcordband).

Bedingungen in noch schärferem Maße zu erfüllen. Diese Anlagen müssen zudem leicht umlegbar oder rückbar sein; dafür können die Erfahrungen nutzbar gemacht werden, die in Abraumbetrieben des Braunkohlenbergbaues in den letzten Jahren mit Bandstraßen gesammelt wurden.

Von den Einzelheiten der Anlagen ist dem Fördergurt hinsichtlich Auswahl und Wartung besondere Beachtung zu schenken; denn er ist an den Gesamtkosten einer Anlage mit etwa 40 bis 50 % beteiligt. Zur Verfügung stehen hauptsächlich zwei Gurtarten: Gummigurte mit Textilgewebeeinlage und solche mit Drahtseileinlage. Der normale Gummigurt mit Baumwollgewebeeinlage (Querschnitt Abb. 1a) mit geschützten Bandkanten und abriebfester Deckplatte wird im allgemeinen für die ge-

forderten Achsabstände zwischen Abwurf- und Umlenktrommel genügen. Läuft er im Freien ohne Abdeckung, so ist auf eine besondere Ozonbeständigkeit der Deckschicht Wert zu legen. Die Baumwollleinlagen werden je nach den erforderlichen Bandzugkräften in den Qualitäten B 60, B 80 oder B 110 gewählt, wobei die Zahlen die Zerreißfestigkeit je cm Einlagenbreite angeben. Für höhere Zugkräfte und Niedrighaltung der Einlagenzahl können Kunstseideeinlagen K 140, K 180 und K 225 Verwendung finden. Wird zur Erreichung eines größeren Füllquerschnitts eine stärkere Muldungsfähigkeit des Gurtes verlangt, so sind die Gummigurte mit Textilgewebeeinlagen größerer Querschnitts zu versehen, als sie die normale Mulde nach DIN 22101 fordert. Sollen noch höhere Zugkräfte übertragen werden — sei es, weil Achsabstände über 1,5 km vorliegen oder lange Steigungen zu überwinden sind —, so können Gummigurte mit Drahtseileinlage, sog. Stahlcordbänder angewendet werden. Den Querschnitt durch ein solches Band zeigt Abb. 1b. Diese Bandart ist außerdem stark muldungsfähig [2]. Die in der Tabelle 1 aufgeführten Dauerbetriebsfestigkeiten gestatten einen Vergleich der verschiedenen Gurtarten.

Tabelle 1. Zulässige Dauerbetriebsfestigkeiten [kg] von verschiedenen Gurtarten.

Gurtart	Bandbreite mm		
	650	800	1000
Einlagen	5	6	6
B 60	1775	2400	3000
Einlagen	5	6	6
K 140	4140	5600	7000
Stahlcord B*)	4220	5200	6500
Stahlcord C*)	8700	10700	13400

*) Qualitäten der Continental-Gummiwerke A.-G., Hannover.

Das Bestreben nach möglichst guter Ausnutzung der Bandbreite hat in der letzten Zeit zu einer sich mehr und mehr durchsetzenden Anwendung der „Tiefmulde“ als Förderquerschnitt geführt. In DIN 22101 und 22107 [3] sind als Stützung des beladenen Gurtes dreiteilige Mulden-Tragrollensätze vorgesehen, bei denen die beiden äußeren Tragrollen um 20° gegen die Waagrechte geneigt sind (Abb. 2a). Es liegt auf der Hand, daß mit einer Vergrößerung dieses Neigungswinkels auf 30° (Abb. 2b) eine erhebliche Vergrößerung des Förderquerschnitts verbunden ist. Bei dem gewählten Beispiel der Abb. 2b beträgt sie etwa 26 %. Freilich muß bei der Bandkonfektionierung auf diese stärkere Muldungsfähigkeit Rücksicht genommen werden. In der Praxis findet man die Tiefmuldenbildung aus Gründen vereinfachter Lagerhaltung und Austauschbarkeit aller Tragrollen auch mit gleichen Rollenlängen (in dem Beispiel 315 mm). Die Tiefmulde ergibt ferner eine bessere Bandführung.

Ein weiteres Mittel zur Verminderung der Gurtkosten ist die Anwendung hoher Fördergeschwindigkeiten. Es ist heute möglich, bis etwa 6 m/s zu gehen. Für die Zwecke des Baubetriebs wird man jedoch meistens

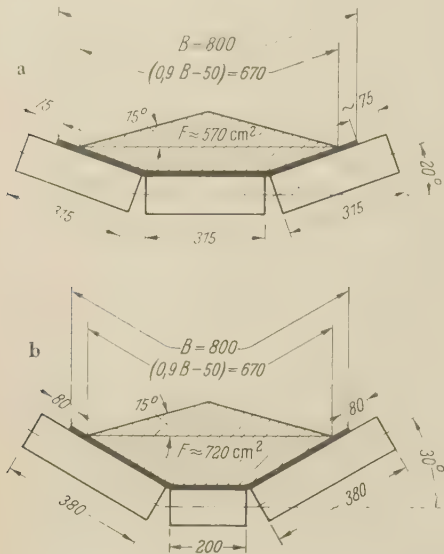


Abb. 2. Ausbildung des Fördergut-Querschnitts bei verschiedener Muldung des Gummigurtes (Gurtbreite 800 mm). a) Muldung nach DIN 22 101 und DIN 22 107. b) Tiefmulde mit unter 30° geneigten seitlichen Tragrollen.

mit Fördergeschwindigkeiten von 3 bis 4 m/s auskommen. Aber auch diese Geschwindigkeiten stellen an die Ausbildung des maschinellen Teils der Anlage besondere Anforderungen.

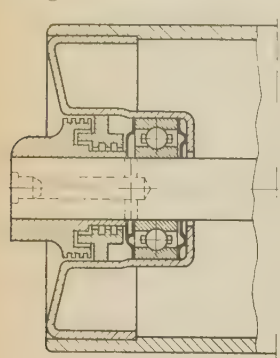


Abb. 3. Förderband-Tragrolle mit Kugellagerung, Labyrinthdichtung und Deckeln aus gezogenem Stahlblech (Maschinenfabrik Beumer, Beckum i. W.).

Die Tragrollen werden auf dem Traggerüst im allgemeinen senkrecht zur Bandachse verlagert. Zur Bandführung und Bandlenkung kann man längs des Bandlaufs in größeren Abständen den Außenrollen eines Muldensatzes einen Sturz in Laufrichtung von 1 bis 3° geben oder Lenkstationen einbauen. Ein Beispiel für einen Lenkrollen-Muldensatz ist in Abb. 4 wiedergegeben. Der Tragrollensatz ist auf einem Drehschemel gelagert. Außer den

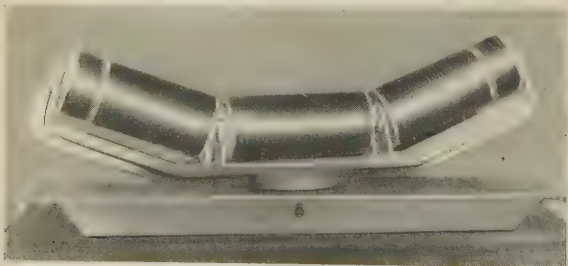


Abb. 4. Lenkrollen-Muldensatz (Maschinenfabrik W. zur Nieden, Essen-Altenessen).

drei üblichen Rollen ist er mit zwei äußeren leicht konischen Hilfsrollen versehen, die beim Geradelauf vom Band nicht berührt werden. Diese Rollen besitzen eine starke Unwucht; läuft das Band schief und damit auf eine dieser Rollen auf, so wird der Tragrollenstuhl selbsttätig in Laufrichtung geschwenkt und das Band damit wieder nach der Mitte zurückgeführt.

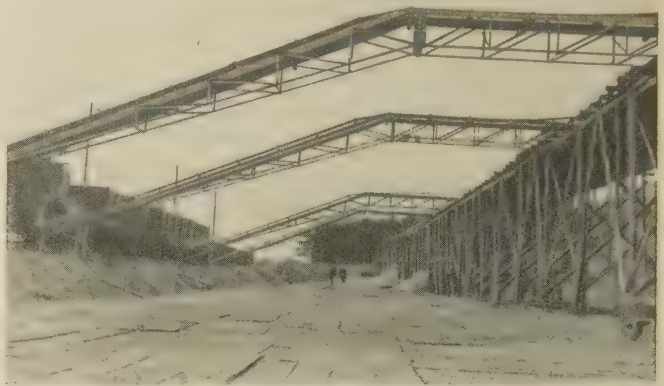


Abb. 5. Fahrbare Bandbrücken für Kieslager (Maschinenfabrik Beumer, Beckum i. W.).

Das eigentliche Traggerüst wird aus Stahl, im Baubetrieb gelegentlich auch aus Holz hergestellt. Die Stahltraggerüste werden bei den ortsfesten Anlagen je nach den gegebenen örtlichen Erfordernissen in bekannter Weise



Abb. 6. Streckenband im Erdbau (Weserhütte AG., Bad Oeynhausen).

ausgeführt, wobei auf Zerlegbarkeit in Transporteinheiten und Leichtbau zu achten ist. Holzgerüste werden dort vorzuziehen sein, wo Holzvorkommen in der Nähe der Baustelle diese Bauweise wirtschaftlich erscheinen lassen, oder wenn eilige Bauvorhaben die längere Lieferzeit einer Stahlkonstruktion nicht zulassen. Ein Beispiel für diese Bauweise bilden die Förderbandanlagen der Kiesaufberei-

PRÜFEN SIE DIE VORZÜGE UNSERER
DIAGONAL-GITTERROSTE



SPEZIALFABRIK FÜR
DIAGONAL-GITTERROSTE

WILHELM HÄHN

FERNDORF KREIS SIEGEN

FERNRUF: KREUZTAL 117 • SEIT 1875



LORENZ
BETON-BOHRPFAHL



bei unsicherem Baugrund,
bedrohten Bauwerken,
Spundwandverankerungen
u. sonstigen Tiefgründungen



ALLGEMEINE BAUGESELLSCHAFT
LORENZ & CO. M. B. H.
BERLIN-WILMERSDORF

LORENZ-BAU
G. M. B. H.
ISERLOHN

ALLGEMEINE BAUGESELLSCHAFT
LORENZ & CO.
LÜBECK HAMBURG NIEF

MENCK sprach mit
Baggerführer
Helmut Rosenberg



*Mit „ihm“
ist man ein guter Arge-Partner!*

denn Herr Rosenberg sagt: auf den M 152 kann man
sich fest verlassen. Er bewährt sich gerade dort, wo hohe
Anforderungen an ihn gestellt werden, sei es im Fels oder
anderem schweren Material.

Der MENCK M 152 ist ein Bagger, „der was einbringt“!



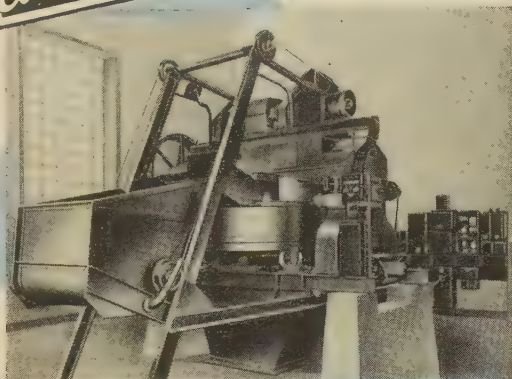
Universalbagger
MENCK M 152
Inhalt 1,5/1,7 m³

*Menck & Hambroek
GmbH
Hamburg-Altona*

Automatisch gesteuerte

Großmischanlagen

(Betonfabriken)



hohe Leistung, niedrige Investitionskosten, hohe Festigkeitswerte, absolut gleichmäßige, intensive Mischung. 100%ige Bindemittelausnützung.

MASCHINENFABRIK GUSTAV EIRICH

Hardheim/Nordbaden Gegründet 1863/Telefon 151/152

„Zur Deutschen Industrie-Messe Hannover wie bisher: Freigelände an der Mittelallee Stand 9, zwischen Halle 1 und 2.“

ROBERT GRÜNZIG

Bauunternehmung

Ringofenziegelei

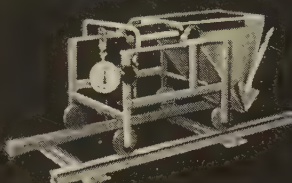
Marmorwerk

STOLBERG / Rhld.

Ausführung der in diesem Heft beschriebenen
Kirche St. Sebastian Aachen 1953/1954

Pfister-Waagen

FÜR DEN BAU



Unser PIKKOLO
verwendbar als
Gleisbahnwaage
Hochbahnwaage
Handkarrenwaage
Fordern Sie Angebot!
Es lohnt sich!

AUGSBURGER WAAGENFABRIK

LUDWIG PFISTER KG AUGSBURG

Grundzüge der Ausgleichsrechnung

Nach der Methode der kleinsten Quadrate nebst Anwendung in der Geodäsie.

Von Dr.-Ing. **Walter Großmann**, o. Professor an der Technischen Hochschule Hannover.

Mit 54 Abbildungen. VIII, 261 Seiten Gr.-8°. 1953. Ganzleinen DM 19,80.

Inhaltsübersicht: Überblick über die Methode der kleinsten Quadrate. — **I. Grundzüge der Fehlerlehre:** Fehlerarten und Genauigkeitsmaße. Das Fehlerfortpflanzungsgesetz. Berechnung des mittleren Fehlers aus scheinbaren Fehlern gleichgenauer Beobachtungen. Berechnung des mittleren Fehlers aus Beobachtungen verschiedener Genauigkeit. Berechnung des mittleren Fehlers aus Doppelmessungen. Das Gaußsche Fehlergesetz und die Genauigkeitsmaße. — **II. Ausgleichung von direkten Beobachtungen:** Grundprinzip und Formen der Ausgleichsaufgabe. Ausgleich direkter Beobachtungen gleicher Genauigkeit (Arithmetisches Mittel). Ausgleichung direkter Beobachtungen ungleicher Genauigkeit (Allgemeines arithmetisches Mittel). Beobachtungen mit Summengleichung. — **III. Ausgleichung von vermittelnden Beobachtungen:** Einführung in die Methode der vermittelnden Beobachtungen. Aufstellen der Fehlergleichungen. Aufstellen und Auflösen der Normalgleichungen nebst Summenproben. (v v)-Proben und Rechenschema. Gewichtsreziproken und mittleren Fehler der Unbekannten. Mittlerer Fehler einer beobachteten Größe. Vermittelnde Beobachtungen ungleicher Genauigkeit. Gewicht einer Funktion der Unbekannten. Übersicht über die Ausgleichung von vermittelnden Beobachtungen. Gemeinsame Berechnung der Unbekannten und ihrer Gewichtsreziproken. Ausgleichung von Höhennetzen. Reduzierte Fehlergleichungen. Stationsgleichungen. Trigonometrisches Einschneiden. — **IV. Ausgleichung von bedingten Beobachtungen:** Einführung in die Methode der bedingten Beobachtungen. Aufstellen der Bedingungsgleichungen. Korrelatengleichungen, Normalgleichungen und Proben. Mittlerer Fehler einer beobachteten Größe. Bedingte Beobachtungen mit ungleichen Gewichten. Mittlerer Fehler von Funktionen der ausgeglichenen Beobachtungen. Übersicht über die Ausgleichung von bedingten Beobachtungen. Einfache Anwendungen der Ausgleichungen nach bedingten Beobachtungen. Bedingungsgleichungen in Dreiecksnetzen. Reduzierte Bedingungsgleichungen. Das Boltz'sche Entwicklungsverfahren. Vermittelnde Beobachtungen mit Bedingungsgleichungen. Bedingungsgleichungen mit Unbekannten. Äquivalente Fehlergleichungen. — **V. Anhang:** Ausgleichung durch schrittweise Annäherung. Genäherte Darstellung von Funktionen. Mittlere Fehler der Genauigkeitsmaße. Schrifttum (Auswahl). — Namen- und Sachverzeichnis.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

tung der Großbaustelle Donaustufe Jochenstein, die bereits eine Beschreibung in dem in der Literatur angeführten Aufsatz gefunden haben [5]. In Abb. 5 sind fahrbare Bandbrücken dargestellt, die zur Beschickung eines Sand-

Streckenlänge und Neigung, d. h. je nach der vom Antrieb auf das Band zu übertragenden Zugkraft sind als Antriebsformen Eintrommelantriebe ohne oder mit Reibbelag auf der Trommel und Zweitrommelantriebe

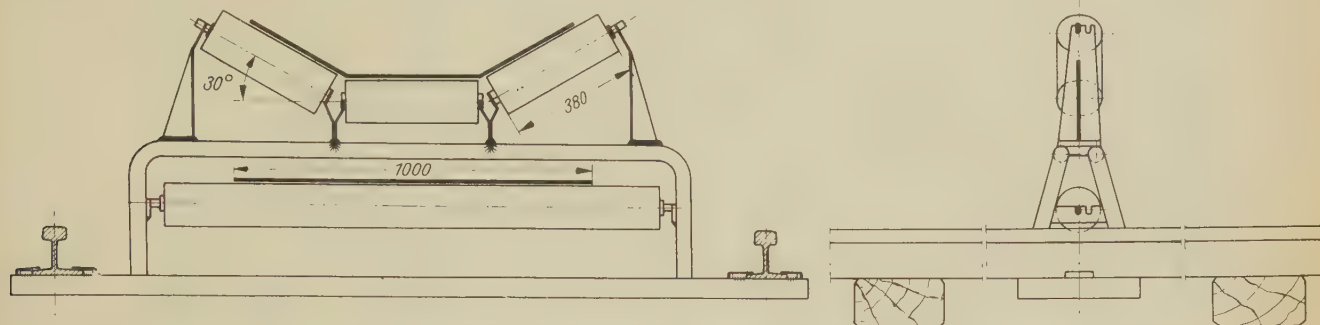


Abb. 7. Querschnitt und Seitenansicht der Tragrollenstützung eines Streckenbandes (A. Müller u. Sohn, München).

oder Kieslagers dienen. Dabei ist die Fahrbahn für den oberen Stützwagen aus Holz, die Tragkonstruktion der Bänder selbst aus Stahl gefertigt. Im Erdbau ist das „Schienenband“ der Weserhütte AG., Bad Oeynhausen, für Streckenbänder anwendbar [1]. Bei der in Abb. 6 dargestellten Ausführung sind die Tragrollenstühle am Fuß eines auf Holzschwellen verlegten Schienenstranges zwischen den Schwellen eingeklemmt. Auf diese Weise können die Gleise mit Aufgabewagen befahren werden. Das Band ist 1 m breit, mit 30° tiefgemuldet und läuft mit 3,5 m/s. Eine ähnliche Ausführung der Firma A. Müller und Sohn, München, für dieselbe Baustelle ist in Abb. 7 dargestellt. Der Tragrollenstuhl ist dort in Rohrkonstruktion durchgebildet. Im Seitenriß der Abb. 7 ist auch die Möglichkeit der einfachen Umhängung der Tragrollen auf Sturz zur Korrigierung des Bandlaufs ersichtlich. Durch ihren Aufbau und die Verlagerung auf Schwellen sind die Anlagen leicht zerlegbar, bedingt auch rückbar, was bei Streckenbändern aber nur selten erforderlich ist.

Die Bandanlagen, die beim Erdbau unmittelbar von den Baggern beschickt werden und mit der Baggerstrosse parallel laufen, werden jedoch häufig gerückt. Die Traggerüstausbildung hat dieser Betriebsweise Rechnung zu tragen. Man faßt daher etwa 6 Muldensätze in einer Rahmenkonstruktion zusammen, die dann auf den Schwellen des Rückgleises nachgiebig befestigt werden, z. B. so, daß der Rahmen an einem Ende einseitig festgelegt, am anderen Ende auf der gleichen Seite aber nur geführt wird; die andere Seite liegt frei auf den Schwellen. Eine solche Ausführung zeigt das Strossenband der Firma Fr. Krupp Maschinen- und Stahlbau Rheinhausen (Abb. 8). Es ist 130 m lang; der Gurt ist 1 m breit, tiefgemuldet und läuft mit 3,5 m/s; seine Kapazität beträgt etwa 1300 m³/h Erdaushub; Antriebsleistung 30 PS. Im Vordergrund der Abbildung ist ein kurzes schwenkbares Übergabeband erkennbar.

Der Auf- und Übergabe des Fördergutes ist im Hinblick auf die Bandlebensdauer besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden. Große Fallhöhen sind zu vermeiden; der Aufprall kann durch Gummi-Polsterrollen (Abb. 9) gemildert werden; Aufgabe in Richtung des Bandlaufes ist einer Queraufgabe auf jeden Fall vorzuziehen. Bei hohen Bandgeschwindigkeiten empfiehlt sich die Anordnung von kurzen Beschleunigungszwischenbändern. Grobe Gesteinsstücke, die in das Fördergut eingelagert sind, können durch Steinfänge abgehalten oder auf das bereits mit feinem Gut abgeschirmte Band geleitet werden.

Die Einzelteile der Antriebsstationen werden zu einer Einheit zusammengefaßt, um diese Stationen leicht einbauen, rücken und transportieren zu können. Je nach

erforderlich. Der Abwurf des Fördergutes kann dabei über eine Antriebstrommel oder eine vorgebaute Umlenk-trommel erfolgen. In Abb. 10 ist ein Eintrommelantrieb mit vorgebautem Abwurf dargestellt, der für eine rückbare Bandstraße mit 800 mm breitem Gurt und eine Strecken-

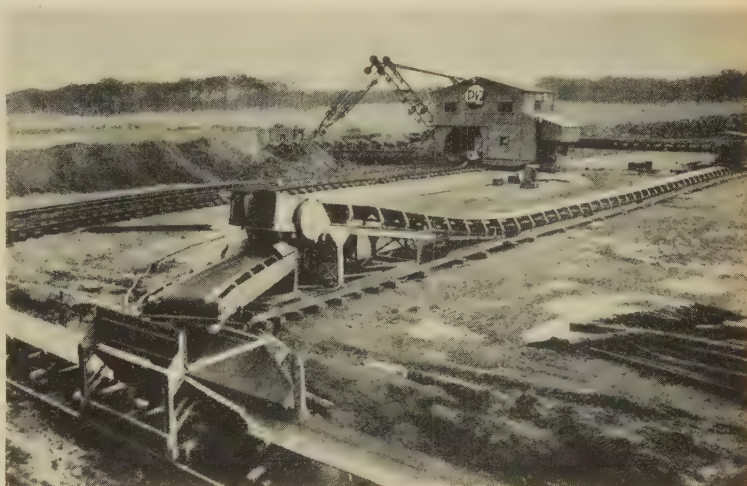


Abb. 8. Rückbares Strossenband mit schwenkbarem Übergabeband auf einer Erdbaustelle (Friedr. Krupp Maschinen- und Stahlbau Rheinhausen).

länge bis 600 m für eine Gurtgeschwindigkeit von 1,7 und 4,1 m/s entworfen wurde. Die gesamte Antriebsstation ruht auf einer Bodenwanne, so daß Ausrichtarbeiten der verschiedenen Antriebsselemente auf der Baustelle nicht nötig sind. Von diesen Antriebsselementen ist das Kegelschneckengetriebe mit einer Hohlwelle auf die Welle der Antriebstrommel aufgesteckt; die Flüssigkeitskupplung und der Antriebsmotor sind an das Getriebe angeflanscht und mit einer Schwinge gegen die Bodenwanne abgestützt. Als Antriebsmotoren werden 1 bzw. 2 Kurzschlußläufermotoren

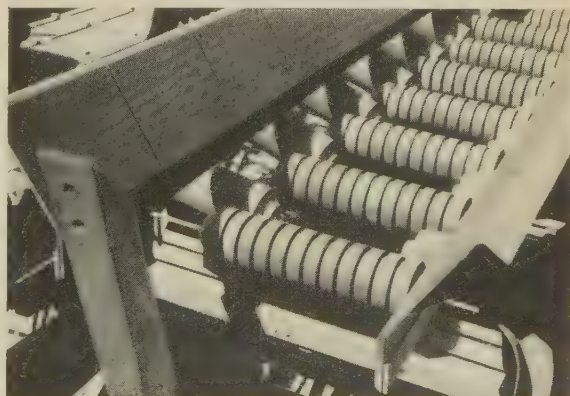


Abb. 9. Polsterrollen an einer Übergabestelle.

mit je 57 kW verwendet. Wie die Abbildung zeigt, ist das Band von der Abwurftrummel kommend zunächst um eine Umlenktrummel geführt, so daß es um die dann fol-

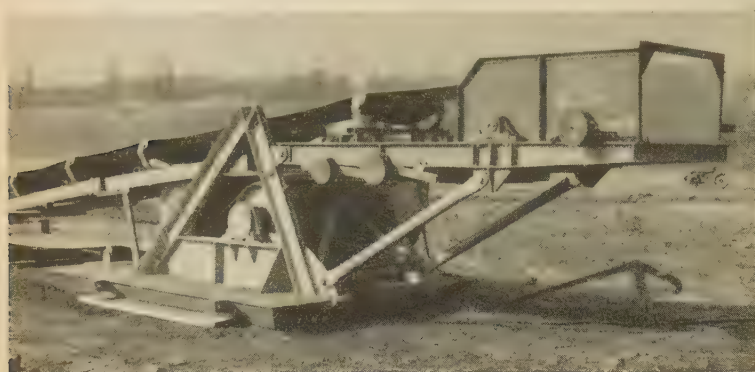


Abb. 10. Rückbare Eintrommel-Antriebsstation mit vorgebautem Abwurf (Friedr. Krupp Maschinen- und Stahlbau Rheinhausen).

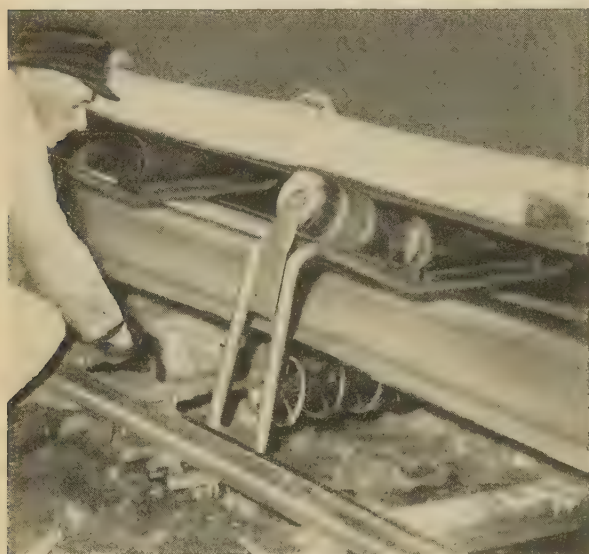


Abb. 11. Spiralarolle zur Bandreinigung im Untertrum einer rückbaren Bandstraße (Friedr. Krupp Maschinen- und Stahlbau Rheinhausen).

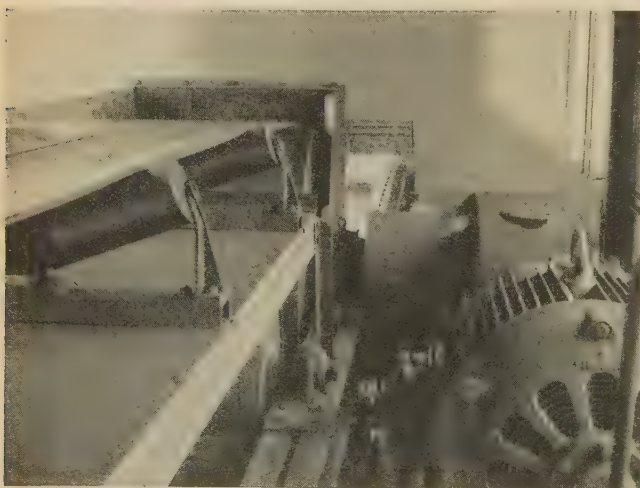


Abb. 12. Eintrommel-Bandantrieb mit seitlich liegendem Motor und Getriebe (Dortmunder Union Brückenbau-AG., Werk Orange, Gelsenkirchen).

gende Antriebstrummel mit seiner sauberen Unterseite läuft. Die Guttragseite des Gurtes wird übrigens durch im Bild ebenfalls erkennbare, gewichtsbelastete Abstreifer gereinigt; zudem reinigen den Untergurt in die Bandstraße eingebaute Spiralrollen (Abb. 11).

Einen Eintrommel-Bandantrieb mit seitlich liegendem Getriebe und Drehstrom-Schleifringläufermotor zeigt die Abb. 12. Der Gutabwurf geschieht hier über Kopf.

Die geschlossene Anordnung der Antriebselemente ist auch bei dem in Abb. 13 wiedergegebenen Doppeltrommelantrieb sichtbar. Hier arbeitet je ein Drehstrom-Kurzschlußläufermotor von 22,5 kW über eine Flüssigkeitskupplung und ein Getriebe auf eine der beiden Antriebstrummeln. Zur Verdeutlichung des Bandlaufs ist der 800 mm breite Gurt schematisch strichpunktuiert in das Bild eingezeichnet.

Alle drei beschriebenen Antriebe lassen Maßnahmen erkennen, die ein schonendes Anfahren bewirken. Bei der Verwendung von Kurzschlußläufermotoren sind hier Flüssigkeitskupplungen nachgeschaltet, die den Einschaltstromstoß verringern und die Beschleunigungszeit für das Anfahren des Bandes verlängern. Dadurch werden die zusätzlichen Bandzugkräfte im Beschleunigungsabschnitt wesentlich herabgesetzt. Der Antrieb mit Schleifringläufermotor gestattet eine beliebige Gestaltung der Anfahrzeit. Beim Zweitrommelantrieb mit getrennten Motoren dienen die Flüssigkeitskupplungen außerdem dem Momentenabgleich und der Geschwindigkeitsabstimmung an den beiden Antriebstrummeln während des Betriebes.

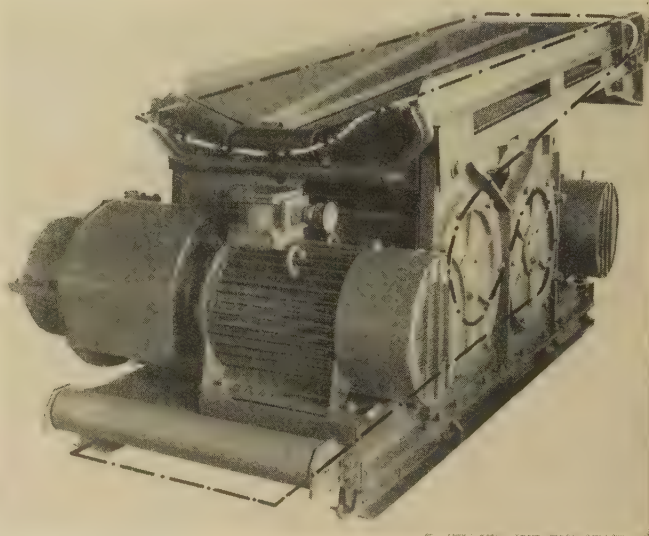


Abb. 13. Zweitrommel-Bandantrieb mit getrennten Motoren und vorgebautem Abwurf (Gebr. Eickhoff, Maschinenfabrik, Bochum).

Die Übertragung der Umfangskraft von der Antriebstrummel auf das Band durch Reibung erfordert eine Vorspannung des Bandes, die auch im Stillstand wirksam sein muß. Bei kürzeren Anlagen ist es üblich, sie an dem Umlenkende des Bandes aufzubringen, etwa dadurch, daß man die Umlenktrummel auf einen Wagen setzt, der über Drahtseile gewichtsbelastet wird. Bei längeren Förderstrecken, insbesondere bei mit Zweitrommelantrieben ausgerüsteten Anlagen wird die Spannvorrichtung möglichst nahe dem Antrieb im rücklaufenden Bandtrum untergebracht. Dieses Bandtrum wird zu diesem Zwecke in einer vertikalen oder horizontalen Schleife geführt, in der die gewichtsbelastete Spanntrommel eingebaut ist. Dabei ist es möglich, die Spannungsgewichte in einem seitlich neben dem Bandtraggerüst errichteten Turm zu führen und ihre Zugkraft durch entsprechend umgelenkte Seile auf die Spanntrommel zu übertragen.

Für den Erdbau wurden zur Verkipfung des gelösten Bodens Absetzgeräte kleineren Ausmaßes entwickelt. Einen solchen auf Raupen verfahrbaren Bandabsetzer zeigt Abb. 14. Bemerkenswert ist an ihm, daß das aufnehmende

Förderband nicht nur geschwenkt, sondern auch in seiner Neigung verstellt werden kann, so daß das Fahrplanum des Gerätes sowohl unter (wie in der Abbildung) als auch über dem Planum liegen kann, auf dem das zuführende Streckenband verlegt ist. Der Absetzer hat eine Auslegerlänge von 27 m.

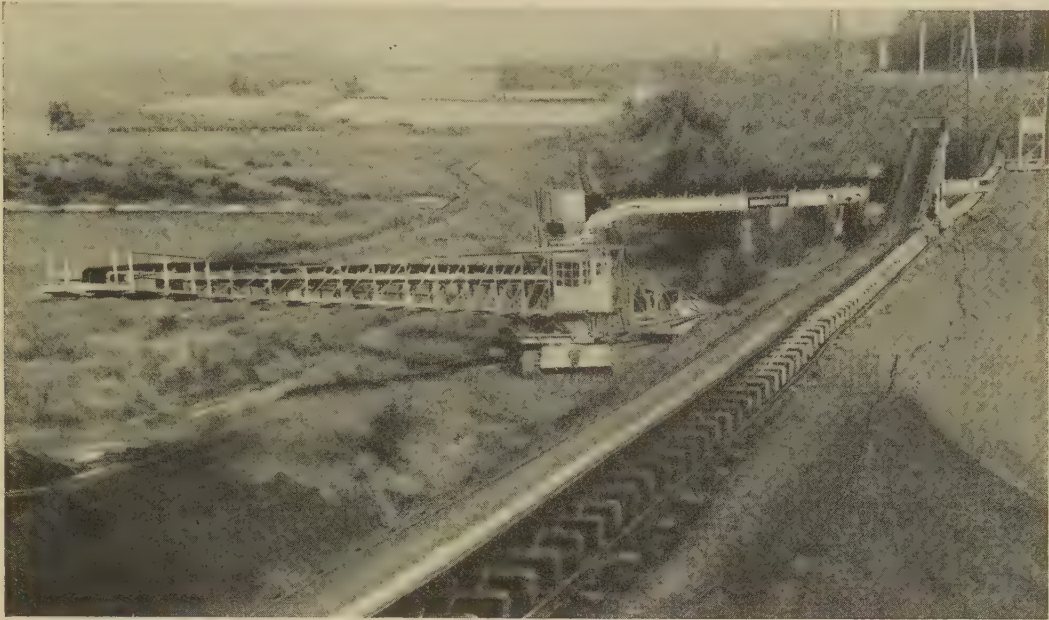


Abb. 14. Absetzer auf Raupenfahrgestell auf der Kippe einer Erdbaustelle (Weserhütte AG., Bad Oeynhausen).

Zum Schluß sei noch darauf hingewiesen, daß die Hannoversche Industriemesse in diesem Jahre besondere Gelegenheit bietet, Einzelheiten und Maschinengruppen von Bandförderanlagen zu besichtigen und sie im Hinblick auf ihre Einsatzfähigkeit im Baubetrieb zu beurteilen. Sie wird ebenfalls die Überzeugung vermitteln, daß Bandförderanlagen auch im Baubetrieb betriebssicher und mit

Vorteil anwendbar und bei großen Massenbewegungen andern Fördermitteln überlegen sind.

Literatur.

1. Riedig: Der Bauingenieur 29 (1954), S. 420 bis 422.
2. W. Müller: Das Stahlcord-Transportband. Z. Braunkohle, Wärme und Energie 5 (1953), S. 469 bis 472.

3. DIN 22101: Gurtförderer, Berechnungsgrundlagen.
DIN 22107: Gurtförderer, Tragrollen.
4. A. Vierling: Der Laufwiderstand von Förderbandtragrollen für den Grubenbetrieb. Z. Glückauf 89 (1953), S. 959 bis 962.
A. Vierling: Förderbandtragrollen für Bandstraßen und Großgeräte des Braunkohlentagebaus. Z. Braunkohle, Wärme und Energie 6 (1954), S. 55 bis 60.
5. A. Held: Gurtförderer für Großbaustellen. Z. Fördern und Heben 4 (1954), S. 125 u. 126.

Kurze Technische Berichte.

Ein Druckkraftmeßgerät von flacher Bauart für exzentrische Lasten.

Die bekannten Geräte zum Messen von Druckkräften sind für viele Fälle nicht geeignet, weil sie eine zu große Bauhöhe haben und nur bei genau axial wirkenden Druckkräften fehlerlose Anzeigen ergeben. Oft müssen aber auch exzentrische Kräfte gemessen werden, z. B. bei Hebeböcken verschiedener Bauart, Winden und ähnlichen Geräten, bei denen es überdies zur Vermeidung des Umklippens und Erhaltung der Stabilität von Wichtigkeit ist, daß das Meßgerät eine besonders niedrige und flache Bauart hat. Für diese gar nicht einmal seltenen Sonderfälle hat die Building Research Station in England ein verhältnismäßig einfaches und doch zuverlässiges Gerät entwickelt.

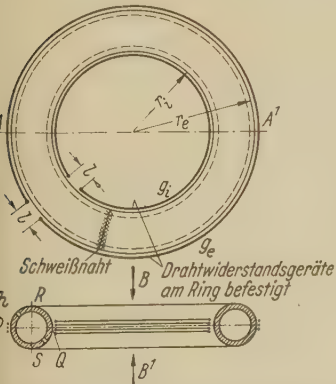


Abb. 1. Schematische Darstellung des Rohrringes mit den Dehnungsmessern (strain gauges).

wandiges Stahlrohr, dessen Enden durch Schweißen miteinander verbunden sind (Abb. 1). Dieser Rohrring liegt zwischen zwei tellerartigen Schalen, die entsprechende ringförmige Aussparungen haben, in die der Rohrring eingebettet ist (Abb. 2). Das Ganze wird auf den Druckkolben des Hebebocks oder an eine geeignete Stelle einer

anderen Hebevorrichtung eingebaut (Abb. 3), wo es wegen seiner geringen Bauhöhe die Stabilität des Hebesystems nicht nennenswert stört. Unter Einwirkung der Druckkraft wird der Rohrring elastisch zusammengedrückt, wobei sich sein ursprünglich kreisförmiger Querschnitt verformt. Der in Richtung R—S liegende Durchmesser wird dabei kleiner, während der Durchmesser P—Q wächst; gleichzeitig wird die äußere Peripherie des Rohrringes länger und die innere entsprechend kürzer. Diese Längenänderungen sind etwa proportional der auf den Rohrring wirkenden Druckkraft, und zwar sind sie in ihrer Gesamtheit unabhängig von der Lage der Krafttrichtung in bezug auf die Achse des Rohrrings, so daß die gleichen Län-

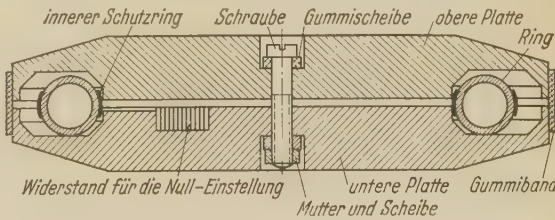


Abb. 2. Querschnitt durch den zwischen Stahlscheiben eingebauten Rohrring.

gungen bzw. Kürzungen bei axialer und stark exzentrischer Last auftreten. Weiter können, da auf der Außenperipherie Druckspannungen herrschen, die Dehnungsmessgeräte in einer Brückenschaltung so angeordnet werden, daß ein System entsteht, das selbstkompensierend gegenüber Änderungen der umgebenden Temperatur ist.

Zur Dehnungsmessung am Rohrring werden Drahtwiderstandsmeßgeräte (strain gauges) benutzt, die in Gestalt von

Bändern an der äußeren und inneren Peripherie des Rohrringes angebracht werden (Abb. 1). Um in dem äußeren und inneren Dehnungsmesser den gleichen Widerstand zu haben, wurde die Windungszahl der Drähte im umgekehrten Verhältnis zur Länge der Dehnungsmesser gewählt, so daß $N_a/N_i = r_i/r_a$ ist; hierin bedeuten N die Anzahl der Windungen und r die Radien der Peripherien des Rohrringes. Da an den Enden der beiden Dehnungsmesser ein kleiner Spalt s zum Befestigen und Verbinden der Drahtenden bleiben mußte, änderte sich zwangsläufig obige Beziehung in $N_a/N_i = (2\pi r_i - s)/(2\pi r_a - s)$. Die Windungszahlen sollten so klein als möglich gehalten werden. Man konnte aber wegen des Herstellungsverfahrens des Rohrringes von Hand das Verhältnis r_a/r_i nicht kleiner als $4/3$ machen und mußte daher für das Windungsverhältnis einen ähnlichen Wert nehmen. Auf Grund dieser Voraussetzungen wählte man für den äußeren Dehnungsmesser 3, für den inneren 4 Windungen Draht.

Bei dem Entwurf des Rohrringes wurde ein mittlerer Rohrringdurchmesser von $(r_i + r_a) = 114$ mm und ein Verhältnis $r_i/r_a = 3/4$ zugrunde gelegt, wobei $r_a - r_i = 15,8$ mm wird; es mußte daher ein Rohr von 15,8 mm Außendurchmesser verwendet werden. Wegen der Schwierigkeit der Beanspruchungsberechnung in einem solchen Rohrring wurde die Tragfähigkeit experimentell an drei



Abb. 3. Meßgerät auf einem Hebebock.

45° zur Belastungsrichtung durch die Wände gebohrt, um die Drahtzuführungen des inneren Dehnungsmessers nach außen bringen zu können.

Die beiden Dehnungsmesser an der äußeren und inneren Peripherie des Rohrringes sind als zwei Zweige einer Wheatstoneschen Brücke geschaltet. Man kann aber auch je zwei

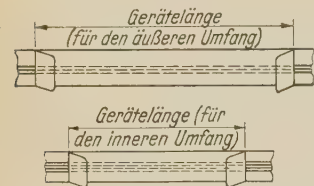


Abb. 4. Freilegen der Drahtenden bei der Herstellung der Dehnungsmesser

230 Ω Widerstand pro Gerät hatte. Der Abstand der Drähte voneinander betrug 0,5 mm bei den Geräten mit 4 Windungen und 0,75 mm bei den Geräten mit 3 Windungen. Das Wickeln der Geräte erfolgte auf einer zylindrischen Holzwalze mit Hilfe einer Spulenwickelmaschine.

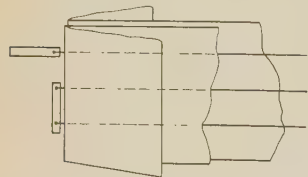


Abb. 5. Drahtenden der Dehnungsmesser.

Ganze wurde dann im elektrischen Ofen 3 Stunden bei 115° C getrocknet und danach der Papierring mit den Drahtwindungen quer durchgeschnitten und gestreckt. Durch Umkniffen der

Papierenden (Abb. 4) wurden die Drahtenden freigelegt und durch Punktschweißen unter Verwendung warmverzinnter NiCr-Streifen je zwei benachbarte miteinander verbunden (Abb. 5). Nach Zurückbiegen und Festkleben der umgekniffen Papierenden entstand die in Abb. 6 dargestellte Form der Dehnungsmesser. Die in dieser Skizze sichtbare zweite, gestrichelte Windungsreihe wurde unter Verwendung einer dritten Papierlage und der zugehörigen Kunstharzschichten auf die zweite Papier-schicht aufgewickelt. Zwei solcher doppelter Dehnungsmesser bilden zusammen alle vier Zweige einer Brückenschaltung. Die Befestigung der Geräte an den Rohrringen geschah durch Ankleben mittels in Alkohol gelösten Bakelites und einer Zwirnumwicklung. Nach 3stündigem Härten bei 115° C wurde der Zwirn entfernt und die Drahtenden mit einem Spannungsanzeigergerät Bauart Baldwin verbunden. Der zwischen die Stahlteiler (Abb. 2) gelegte Rohrring war dann betriebsfertig.

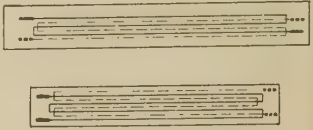


Abb. 6. Fertige Dehnungsmesser mit je zwei getrennten Wicklungen.

Bei der Erprobung unter einer Hebel-Druckprüfmaschine wurde ein Kraftmesser mit einem Ring von 114 mm Durchmesser aus Rohr von 15,8 mm Durchmesser und 0,9 mm Wandstärke, an dem innen und außen je ein mit Doppelwindungen nach Abb. 6 versehener Dehnungsmesser saß, zuerst mit 0,1 t belastet und dann die Last weiter unter jedesmaligem Zurückgehen auf die Anfangslast in Stufen bis 3,8 t gesteigert. Die sich dabei ergebende Eichkurve ist praktisch geradlinig, wobei eine Anzeigegenauigkeit von 2050 Instrumenten-Einheiten pro t gefunden wurde. Im elastischen Bereich war die Genauigkeit der äußeren Dehnungsmesser der der inneren annähernd gleich. Bei Erhöhung der Last auf 4,8 t zeigte sich eine geringe Erhöhung der Nullanzeige am Anzeigeelement, was auf beginnende plastische Verformung schließen läßt. Auf Grund dieses Ergebnisses wurde der Benutzungsbereich dieses Ringes auf 1,5 t begrenzt. Zur Ermittlung des Einflusses der Lastexzentrizität wurden mit einem weiteren Gerät gleicher Abmessungen 5 Versuche mit Exzentrizitäten von 0; 12,7; 25,4; 38,1; 50,8 mm ausgeführt, wobei die obere Lastgrenze mit steigender Exzentrizität zunehmend niedriger gehalten wurde. Wie Tabelle 1 zeigt, stimmten die Instrumentenanzeigen bei

Tabelle 1. Belastungsversuch mit 114 mm Durchmesser Ring aus 15,8 mm Rohr von 0,91 mm Wandstärke.

Last to	Anzeige des Baldwin-Instruments				
	Exzentrizität e				
	e = 0 r = 0	e = 12,7 r = 0,2	e = 25,4 r = 0,45	e = 38,1 r = 0,65	e = 50,8 r = 0,8
0	0	0	0	0	0
0,2	430	422	428	421	422
0,4	842	838	847	841	839
0,6	1 260	1 252	1 260	1 259	
0,8	1 669	1 662	1 670		
1,0	2 069	2 069	2 070		
1,2	2 487				
1,4	2 888				

Tabelle 2.

Ring- durch- messer mm	Rohr- durch- messer mm	Rohr- wand- stärke mm	Trag- fähigkeit to	Anzeige am Baldwin-Instrument bei 1 to
114,3	15,8	0,91	1,5	2 050
114,3	15,8	1,63	3,5	500
114,3	15,8	2,64	10,0	110
139,7	19,0	2,03	4,0	310

allen diesen Versuchen gut überein. Die geringfügigen Abweichungen von dem Versuch mit dem ersten Gerät dürften auf Ungenauigkeiten der Ringoberfläche und der Dehnungsmesser zurückzuführen sein. Die Abweichungen von der Geraden sind durchaus im Rahmen der Genauigkeit der Lastanzeige der Prüfmaschine und der Angaben des Baldwin-Instrumentes. Es

sei aber darauf hingewiesen, daß bei ungünstiger Richtung der Exzentrizität in Bezug auf den Spalt s zwischen den Dehnungsmessenden unter Umständen ein etwas ungünstigeres Ergebnis mit Fehlern bis $\pm 3\%$ bei maximaler Exzentrizität vorkommen kann. Einige Versuche mit Rohringen, die sich von dem vorher erwähnten nur durch größere Rohrwandstärke unterscheiden, ergaben, wie Tabelle 2 zeigt, zwar höhere zulässige Belastungen, aber eine wesentlich geringere Anzeigegenauigkeit am Instrument, so daß sie aus diesem Grunde weniger geeignet sind. Das gleiche gilt für einen Rohring von 139,7 mm Durchmesser, der aus einem Rohr von 19 mm Durchmesser und 2 mm Wandstärke hergestellt war.

Die Versuche zeigen, daß der Rohring-Kraftmesser ein brauchbares Gerät zum Messen exzentrischer Druckkräfte ist. Die Anzeigegenauigkeit von 3000 Einheiten am Baldwin-Gerät bei Höchstlast entspricht einer Spannungsänderung von 1,5 mV/V bei Weichstahlrohr. Dieser Wert kann aber durch Anwendung von Rohren aus legiertem Stahl oder Monell-Metall, die ein höheres Verhältnis Elastizitätsgrenze zu Elektrizitätsmodul haben, verdoppelt oder verdreifacht werden. Die Erkenntnis, daß dünnwandiges Rohr vorteilhafter ist als dickwandiges, weist darauf hin, daß man bei der Dimensionierung der Rohringe für andere Lastbereiche mehr den Rohrdurchmesser als die Wandstärke verändern sollte, wozu es unter Umständen nötig ist, von der Biegung von Hand, wie bei den vorstehend beschriebenen Versuchen, abzugehen und die Rohre maschinell zu biegen und eben zu machen. [Nach Engineering 177 (1954) Nr. 4598, S. 339.]

Dr.-Ing. H. Bürnheim, München 9.

Das Wasserkraftwerk Soverzene an der Piave.

Das Kraftwerk Achille Gaggia (Soverzene) der Società Adriatica di Elettricità (SADE) nutzt die mittlere Piave zwischen den Stufen Piave Ansiei und Piave S. Croce von Kote + 683,5 bis

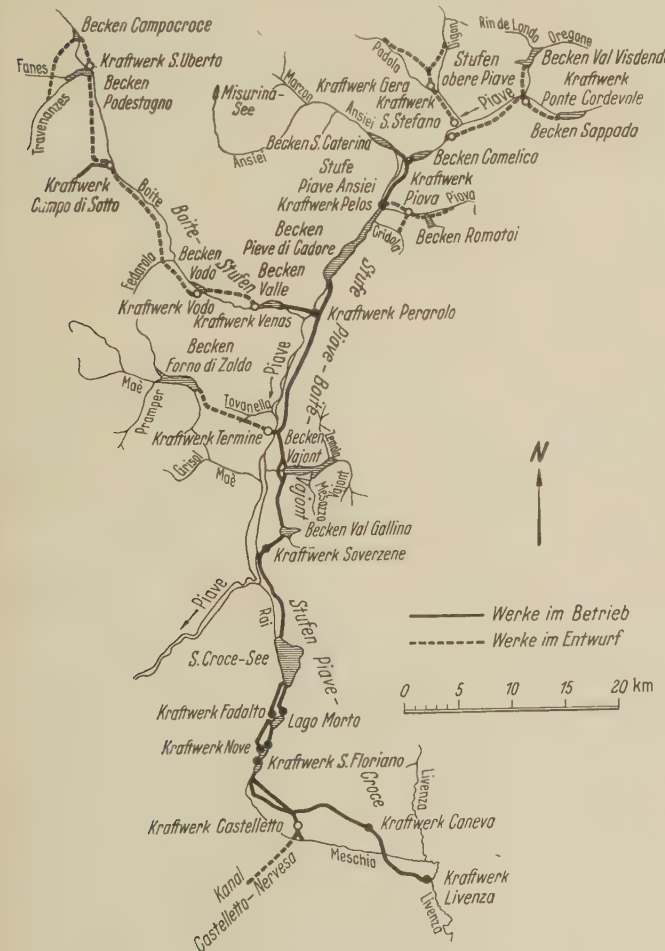


Abb. 1. Übersichtsplan.

Kote + 390 m aus (Abb. 1). Es verarbeitet das Wasser der Piave und der in der Ausbaustrecke hinzukommenden Nebenflüsse Boite, Maë und Vajont. — Die natürliche Wasserführung dieser Flüsse wird durch 7 Speicher von insgesamt 170 Mio m³

Inhalt (zwei davon sind noch im Bau) auf das Mittelwasser von 43 m³/s ausgeglichen.

Ein 24,6 km langer Oberwasserstollen mit 4,5 bis 4,7 m Durchmesser zweigt unterhalb des Werkes Pelos aus dem 64,3 Mio m³ fassenden Speicher Pieve di Cadore ab, nimmt unterwegs die Wasser der Nebenflüsse Boite, Maë, Vajont auf und endet im Becken Val Gallina. Von hier führen zwei Druckstollen von 5,0 m Durchmesser und 2,44 km Länge zu den vier Wasserschlössern des Kraftwerkes Soverzene (Abb. 2). Das nahe

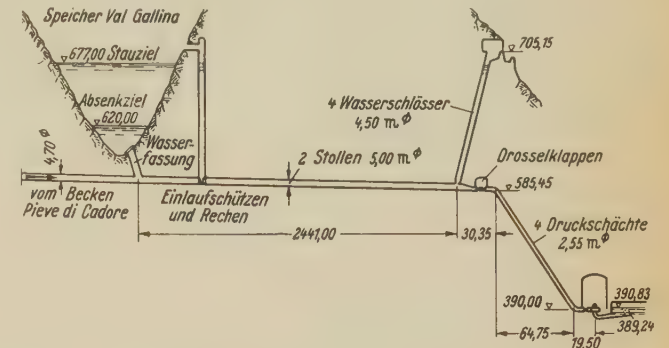


Abb. 2. Schematischer Längenschnitt vom Speicher Val Gallina bis zum Kraftwerk.

am Kraftwerk gelegene Becken Val Gallina bot den Vorteil, daß es mit seinem Inhalt von 6 Mio m³ als Spitzenbecken wirkt und daß daher der lange Stollen oberhalb für die 24-stündige Wassermenge ausgebaut werden konnte, während für die Spitzenwassermenge von 88 m³/s nur die beiden Stollen vom Gallina-Becken bis zum Kraftwerk vorzusehen waren. Auch für die Bemessung der Endwasserschläuser ergaben sich Vorteile insofern, als durch das Becken von Val Gallina mit seiner großen Oberfläche der Einfluß des langen Stollens oberhalb des Speichers auf die Massenschwingungen in den Wasserschlössern praktisch ausgeschaltet ist. Da das Becken erst nach Inbetriebnahme des Kraftwerkes fertig wurde, mußten in

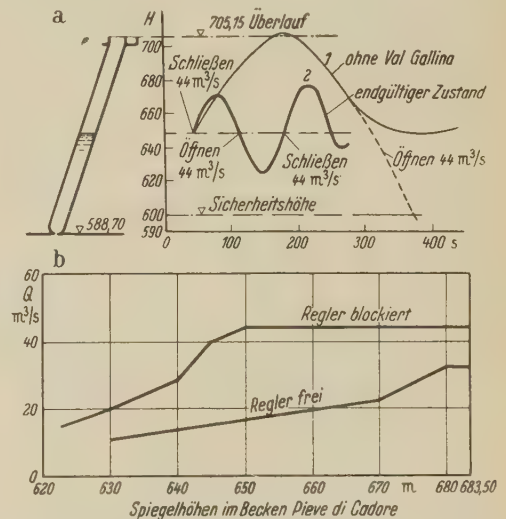


Abb. 3. a) Schwingungen im Wasserschloß vor und nach Inbetriebnahme des Beckens Val Gallina; b) zulässige Wasserentnahmen vor Fertigstellung des Gallina-Speichers.

der ersten Zeit gewisse Einschränkungen bei Belastungsänderungen in Kauf genommen und die Maschinen in ihrer Leistungsabgabe begrenzt werden (Abb. 3).

Von den paarweise hydraulisch gekuppelten Wasserschlössern gehen 4 mit Spannbeton verkleidete Druckschächte mit 2,55 m Durchmesser ab, deren jeder eine Turbine speist.

Die Kraftwerkskaverne (Abb. 4) enthält 4 vertikalachsige Francis-Spiralturbinen, die bei Nutzgefallen von 284 bis 202 m je 22 bis 18 m³/s Wasser schlucken. Die Generatoren sind für je 60 000 kVA ausgelegt und geben 55 000 kW bei $\cos \varphi = 0,92$ ab. Die Maschinen können mit zwei Drehzahlen gefahren werden, mit 360 U/min bei 42 Hz und mit 428 U/min bei 50 Hz.

Die Gesamtleistung des Werkes ist 220 000 kW, seine Jahresarbeit 750 Mio kWh.

Im Unterwasser gibt es einen Freispiegelstollen, der das Betriebswasser direkt in den Oberwasserstollen der folgenden Anlage

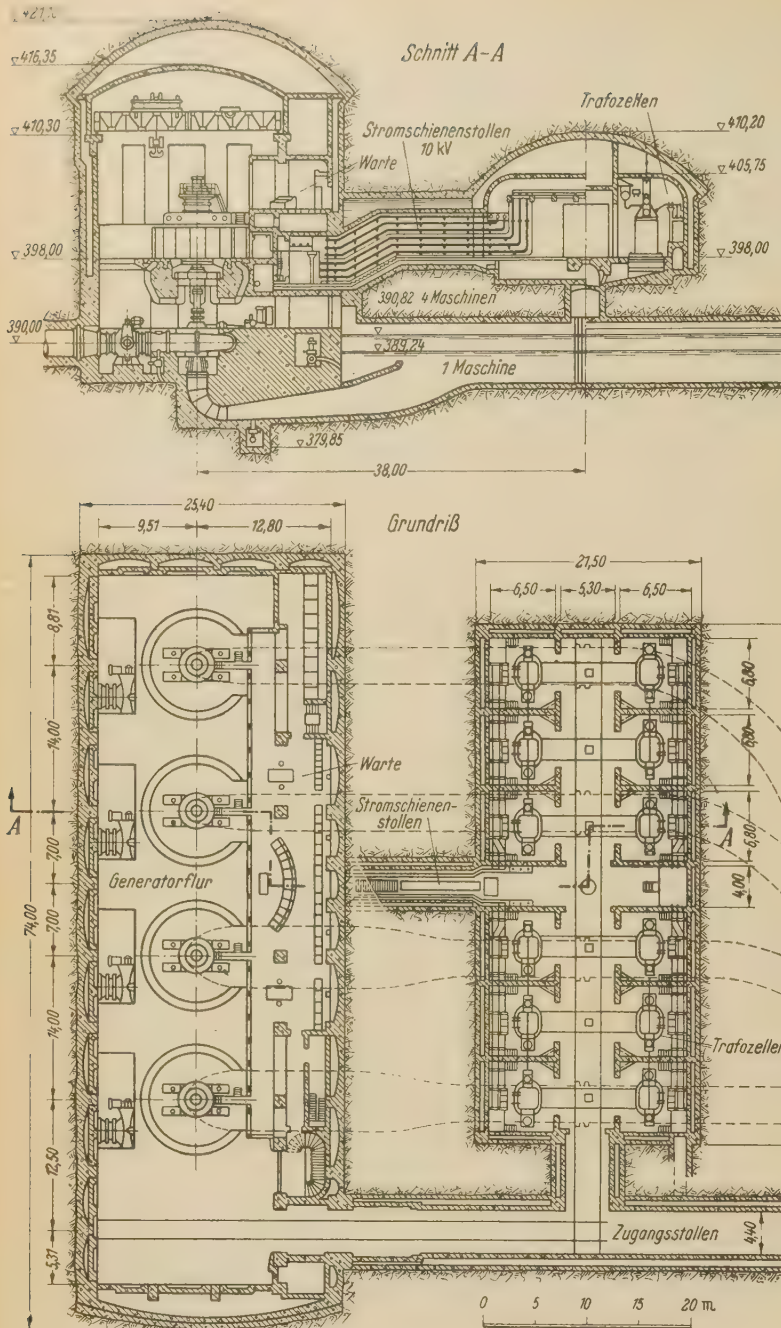


Abb. 4. Querschnitt und Grundriß der Zentrale Soverzene.

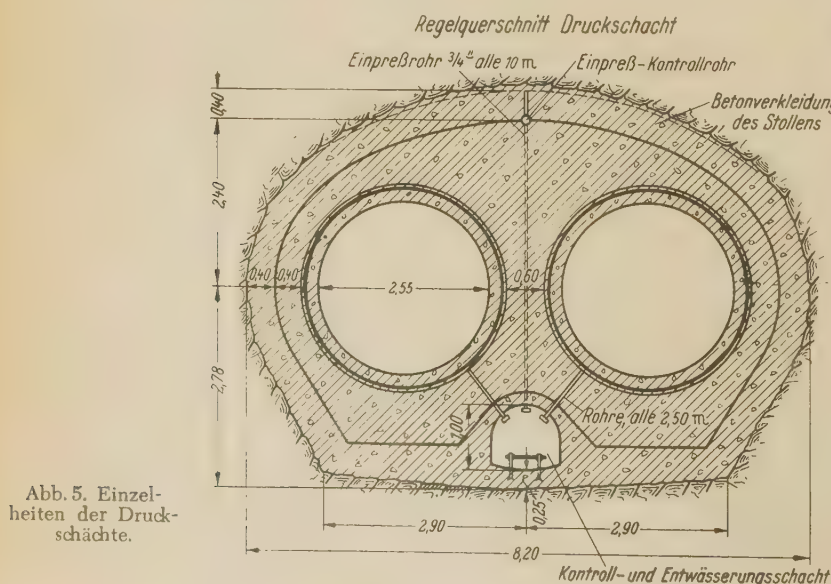
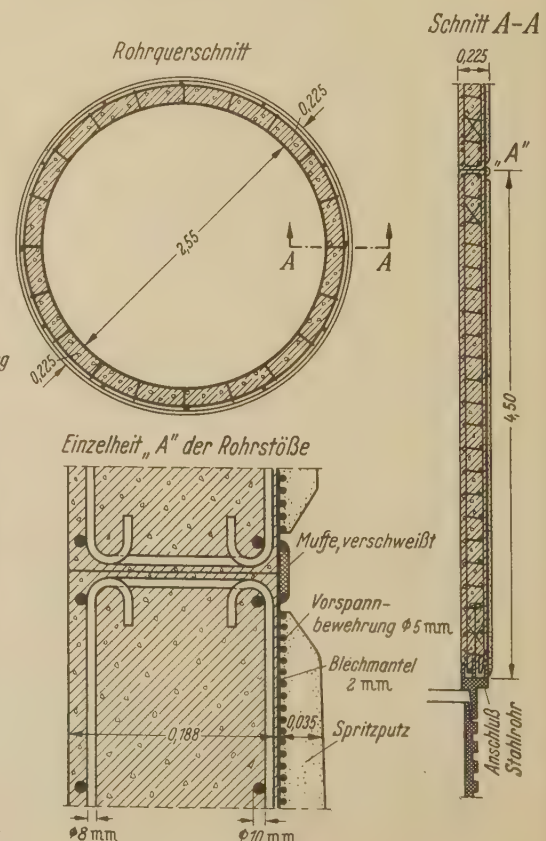


Abb. 5. Einzelheiten der Druckschächte.

Piave S. Croce ab. Falls dieser außer Betrieb ist, kann das Betriebswasser von Soverzene auch unmittelbar in die Piave zurückgeführt werden.

Die Kraftwerkskaverne enthält neben den Turbinen und Generatoren die Warte und die Nieder- und Mittelspannungsschaltanlage. Die Transformatoren sind in einer eigenen Kaverne aufgestellt. Aus Transportgründen wurden Einphasentransformatoren gewählt, die auch Vorteile bei der Reservehaltung boten. Die 130- bzw. 225 kV-Anlage ist ins Freie gelegt. Die erzeugte Energie wird durch je 2 Hochspannungsleitungen von 130 und 225 kV ins Netz der SADE abgeführt.

Als Grund für die Kavernenlösung wird angegeben, daß es hierbei möglich war, die einzelnen Elemente des Kraftwerkes in der günstigsten Weise zusammenzulegen und dabei die Verluste auf ein Minimum zu beschränken, vor allem aber, daß die Kavernenlösung billiger als die normale Bauweise mit Kraftwerksgebäude war. Während der Projektbearbeitung wurde eine Kostendifferenz von 950 Mio L zu Gunsten der Kaverne errechnet. Teurer wurden bei letzterer die Maschinenhalle, der Unterwasserstollen, die Stromschienen, die Meß- und Bedienungskanäle, ferner waren erforderlich ein Zugangsstollen, verschiedene Hilfsstollen, eine Belüftungsanlage, eine Klimatisierungsanlage, eine Verstärkung der Beleuchtung. Demgegenüber überwogen aber die Verbilligungen aus folgenden Titeln: Verkürzung der Druckstollen, Verkürzung der Druckleitungen und Ausführung derselben als Druckschächte mit Spannbetonverkleidung, Fortfallen von Druckreglern samt Energieverzellern, bedingt durch die Leitungsverkürzung. Außerdem ergab sich ein bestimmter Stromgewinn als Folge verminderter Verluste. Der Hauptgrund für die wirtschaftliche Überlegenheit der Kavernenlösung lag bei den Druckschächten. Zu beachten ist aber, daß deren großes wirtschaftliches Übergewicht vor allem von den damals geltenden scharfen italienischen Bestimmungen für Stahlrohrleitungen herrührt. Da diese jetzt gelockert sind, würde sich heute die Kostendifferenz zwischen Kavernen- und offener Bauweise von 950 auf 800 Mio L vermindern.



Die Druckschachtauskleidung besteht, wie erwähnt, aus vorgespannten Stahlbetonrohren von 2,55 m lichtigem Durchmesser (Abb. 5), die paarweise in je einem elliptisch ausgebrochenen Schrägschacht verlegt sind. Die Rohre wurden in Schüssen von 4,5 m Länge außerhalb der Anlage in vertikaler Stellung zwischen innerer und äußerer Stahlschalung in 19 cm Wandstärke betoniert und hochfrequent gerüttelt. Die innere Schalung wurde wieder entfernt, die äußere dagegen blieb und diente zur Aufnahme der Vorspanndrähte. Die Vorspannbewehrung wurde 20 Tage nach dem Betonieren maschinell aufgebracht. Sie bestand aus Stahldraht von 5 mm Durchmesser mit einer Bruchfestigkeit von 75 kg/mm². Nachdem die Bewehrung eine Spritzputzverkleidung erhalten hatte, wurden die Rohre mittels Winde in den Schrägschacht abgelassen, ausgerichtet und durch Überschubmuffen gedichtet, die mit der erwähnten äußeren Blechhaut verschweißt wurden. Dann wurde der Hinterbeton eingebracht und gerüttelt. Der Berechnung der Rohre wurde, unter Vernachlässigung der Mitwirkung des Felsens, der betriebsmäßige Wasserdruck zugrunde gelegt. Die an den 4 Druckschächten durchgeführten Versuche haben voll befriedigt. Bei 1½fachem Betriebsdruck entstanden nur unbedeutende Wasserverluste, bei einfachem Betriebsdruck waren an der Rohrinneiseite 8,5 kg/cm² Druck vorhanden, die Bewehrung hatte Zugspannungen von weniger als der halben Bruchspannung aufgenommen, wobei die Mitwirkung des Felsens nicht berücksichtigt war.

Das Werk Soverzene ist dazu bestimmt, die Führung des SADE-Netzes hinsichtlich Spitzendeckung, Beherrschung von Belastungsschwankungen und Frequenzhaltung zu übernehmen. Diese Aufgaben bedingten zunächst den hohen Aus-

bau auf 220 MW. Im Zusammenhang damit stehen ferner folgende Maßnahmen:

1. Zur Ermöglichung eines ausgeprägten Spitzenbetriebes reichliche Bemessung des Endspeichers Val Gallina und der beiden Spitzenstollen zu den Wasserschlössern.

2. Vorsichtige Bemessung der Wasserschlösser hinsichtlich Stabilität und Schwingungsweiten. Sie sind in der Lage, bei allen Spiegellagen im Becken Val Gallina folgende Laständerungen zu beherrschen: Vollständige Entlastung von Volllast auf Null, darauf folgend Wiedereinschalten der vollen Leistung im ungünstigsten Zeitpunkt, d. h. nach einer Halperiode, darauf folgend abermalige vollständige Entlastung nach einer weiteren Halperiode. (Der Vorgang ist in Abb. 3 durch Kurve 2 dargestellt.) Der Wasserschloßquerschnitt ist zur Erzielung günstiger Bedingungen für die Frequenzregelung so bemessen, daß die Spiegeländerung im Schacht bei den Schwingungen nicht größer als 1 m/s ist.

3. Verwendung von sehr empfindlichen und schnell wirkenden Geschwindigkeitsreglern.

4. Auslegung der Synchron-Generatoren für ein hohes Leerlauf-Kurzschlußverhältnis bei hohen Trägheitskonstanten, Verwendung eines schnell ansprechenden Erregungssystems, das von Spannungsschnellreglern gesteuert wird.

Das Werk ist mit der ersten Turbine im Jahre 1951 in Betrieb gegangen und befindet sich seit geraumer Zeit in Vollbetrieb. [Nach Mainardis: L'Energia Elettrica 31 (1954), S. 1.]

Josef Frank, Erlangen.

Buchbesprechungen und Neuerscheinungen.

ACHEMA-Jahrbuch 1953/1955. Europäischer Katalog des chemischen Apparatewesens. Rd. 900 S., Gr. DIN A 4, dreisprachig (englisch, französisch, deutsch). Herausgegeben von Herbert Bretschneider, DECHEMA Deutsche Gesellschaft für chemisches Apparatewesen, Frankfurt/M. 1954.

Das Jahrbuch soll den Teilnehmern der ACHEMA XI-Tagung, die vom 14. bis 22. 5. 1955 in Frankfurt/M. stattfinden wird, ermöglichen, die Fragen zu sammeln und zu formulieren, die sie anlässlich der Tagung erörtern wollen. Eine solche Vorbereitung ist bei dem großen Umfang der Ausstellung (rd. 50 000 m² Grundfläche mit mehr als 750 Firmen aus dem In- und Ausland) notwendig. Darüber hinaus ist das Jahrbuch ein wertvolles Auskunftswerk für die chemische Wissenschaft und Technik Europas.

Der wesentliche Inhalt des Jahrbuches ist in 3 Sprachen wiedergegeben. Der Inhalt ist gekennzeichnet durch die Geleitworte der 19 Präsidenten der ACHEMA. Der allgemeine Teil bringt 2 Aufsätze und Berichte von 26 europäischen Hochschulinstituten über ihre einschlägigen Arbeiten. Der Teil „Leistungen der Technik“ enthält Abhandlungen von 92 Firmen über bemerkenswerte Erkenntnisse und Entwicklungen, während das Firmenverzeichnis Auskunft über die Hauptarbeitsgebiete usw. von über 800 Firmen gibt. Besonders erwähnenswert sind die Sachverzeichnisse, die Antwort geben auf die Fragen: Wer liefert — wer weiß über was Bescheid?

Das Jahrbuch wird zunächst nur den namentlich angemeldeten Besuchern der ACHEMA XI-Tagung im Rahmen der Teilnehmergebühr unberechnet zur Verfügung gestellt. Erst wenn nach der Tagung noch Exemplare vorhanden sind, werden diese auch an Nichttagungsteilnehmer abgegeben. Einige Einzelheiten zur ACHEMA XI-Tagung vgl. Bauingenieur 29 (1954) S. 439. F. Schleicher, Dortmund.

Geologie für Talsperren- und anderen Stauanlagen (Géologie des Barrages et des aménagements hydrauliques). M. Gignoux, Mitglied der Akademie der Wissenschaften, Honorarprofessor an der Universität und der nationalen Hochschule für Hydraulik, und R. Barbier, Professor an der Universität und der nationalen Hochschule für Hydraulik in Grenoble: Mit 28 Phototafeln und 176 Abb., 343 S. Paris, Verlag Masson & Cie, Paris 1955. Preis broschiert 2.800 fr., Ln. 3.500 fr.

In dem vorliegenden Werke aus der Feder zweier bedeutender Talsperrenbaugrund-Sachverständigen des französischen Westalpengebietes und Nordafrikas wird wohl erstmalig für europäische Verhältnisse die gesamte Problematik der einer

exakten Berechnungsgrundlage nicht zugängigen Baugrundgeologie für Stauanlagen an Fels- (und Locker-)gesteinen mit ihren besonderen schwierigen Verhältnissen an allen stark zerklüfteten und wasser- und erosionsempfindlichen Stellen gebracht. Das Hauptgewicht der Darstellung liegt auf den verschiedenen Felsgesteinen als Baugrund für Stauanlagen. Damit wird eine Baugrundanalyse in ihren Grundzügen und ihren praktischen Folgerungen geboten, die durch mehr als 250 kritisch ausgewählte Beispiele belegt ist. Ausführungen über die Grundwasserbewirtschaftung, über die Grundwasserstollen und schließlich die ausführliche Behandlung der Baugrunderschließung durch Bohrungen und seine Sicherung durch die verschiedenen geotechnischen Maßnahmen der Stabilisierung: Injektionen usw. zeigen, daß dieses Standardwerk im besten Sinne des Wortes weit über den Titel einer „Geologie der Stauanlagen“ hinausgeht und sich vor allem mit den notwendigen technischen Folgerungen beschäftigt. Dies ingenieurgeologisch-geotechnische Handbuch zeigt deutlich, daß eine baugrundgeologische Bewertung nur dann ihre Aufgabe erfüllt, wenn sie die notwendigen technischen Folgerungen zu ziehen versteht. Ein ausführliches Schriftumsverzeichnis und Verzeichnis der im Text erwähnten Beispiele von Stauanlagen runden das Werk ab. Der ungemein reiche Erfahrungsschatz der Autoren wird bereitwilligst dargeboten und wird dadurch zum unentbehrlichen Ratgeber für alle Ingenieurgeologen und Wasserbauer. Das Buch verdient daher weiteste Verbreitung.

Keil, Dresden.

Schoszberger, Dr.-Ing. Hans, Berlin: Bautechnischer Atomschutz. Herausgegeben von der Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf, Kapellstr. 12, in der Reihe Monographien über Stahlverwendung. 64 S., Gr. 20 · 24 cm, mit vielen Abb.

Die Arbeiten für die Vorbereitung von Vorschriften und bautechnischen Richtlinien für den Schutz von Menschen und Häusern gegen Atombomben nähern sich dem Abschluß. Die vorliegende Schrift des bekannten Fachmannes zeigt, wie ein Schutzraum gebaut werden muß, der auch gegen Wasserstoffbomben zu schützen vermag. S. zeigt dabei u. a., daß ein derartiger Schutz nicht an den Kosten zu scheitern braucht. Man kann danach Neubauten z. B. als Stahlskelett so bauen, daß sie auch bei Bombentreffern nur beschädigt und nicht vollständig zerstört werden.

Der Stand des Baues von Schutzräumen gegen Atombomben im Ausland, wo dieser bereits weiter fortgeschritten ist, hat angemessene Berücksichtigung gefunden.

F. Schleicher, Dortmund.

Krebs, Dipl.-Ing. Hans Günter: Schiefe Biegung. Bemessungsdiagramme für rechteckige Stahlbetonquerschnitte mit symmetrischer Bewehrung. 84 S., Gr. DIN A 4, mit vielen Abb. u. Tab. Wiesbaden/Berlin: Bauverlag GmbH. 1954, Kart. 15,— DM.

Der Verfasser hat in seinem Tafelwerk Rechteckstützen behandelt, die in allen vier Ecken gleiche Bewehrungsquerschnitte aufweisen. Die sich mit Hilfe der Tafeln ergebende Bewehrung ist für stark wechselnde Belastungsfälle wirtschaftlich, da für die jeweilige Beanspruchung die gesamte symmetrische Bewehrung herangezogen wird. Jedoch kann sich bei Stützen mit geringer Änderung der Nulllinienlage für die verschiedenen Lastfälle eine sehr unwirtschaftliche Bewehrung ergeben, weil die Stahleinlagen in der Nähe der Nulllinie keinen nennenswerten Beitrag liefern.

Die außerdem noch angegebenen Übersichtsdiagramme gestatten eine schnelle Bestimmung der Stützenabmessungen und der Bewehrung, wobei die Stahlspannung jedoch noch einmal besonders mit Hilfe der Bemessungsdiagramme nachgewiesen werden muß.

Als Nachteil der Tafeln wird allerdings empfunden, daß dem Ingenieur keine Möglichkeit gegeben ist, die Stahleinlagen nach konstruktiven Gesichtspunkten anzuordnen.

K. Hirschfeld, Aachen.

Baustoffe, ihre Elastizität und Unelastizität (Building Materials their Elasticity and Inelasticity). Herausgegeben von M. Reiner, Dr. techn., Prof. of Applied Mechanics, Israel Institute of Technology, Haifa, unter Mitwirkung von A. G. Ward, M.A., F. Inst. P., Director, Brit. Gelatine and Glue Res. Assoc. London (= **Deformation and Flow**, Monographs on the Rheological Behaviour of Natural and Synthetic Products, Edited by J. M. Burgers, J. J. Hermans and G. W. Scott Blair). 560 S., Gr. 17,5 · 23 cm, mit vielen Abb. Amsterdam: North-Holland Publishing Company 1954. Gln. 42,— Gulden (84,— sh.).

In der anglo-amerikanischen Fachwelt ist das Wort Rheologie (von $\rho\epsilon\omicron$ = Fließen) üblich geworden, um die Gesamtheit aller Formänderungen zu bezeichnen. Eine solche besondere Bezeichnung ist berechtigt. Eine gleich umfassende Benennung für die gesamten Verformungen unter Belastung (ob sie sofort eintreten oder erst im Laufe der Zeit) oder für die Verformungen bei Entlastung (die sich zerlegen lassen in den elastischen Teil im engeren Sinne, der sofort zurückgeht, und in einen von der Zeit abhängigen Teil) ist bei uns nicht im Gebrauch. Die Komponenten des rheologischen Verhaltens (elastische oder plastische Verformungen, die Nachwirkung, und bei sehr langsam verlaufenden Vorgängen das Kriechen) sind an sich bekannt. Es empfiehlt sich jedoch für viele Fälle eine exaktere Erfassung, weil man ohne Beachtung des wahren Dehnverhaltens kein genügend zutreffendes Bild der Kräfteverhältnisse erhält (es sei hier nur an das Kriechen in Verbundkonstruktion erinnert). Auch die Wirtschaftlichkeit zwingt zu immer kleineren Sicherheitsgraden, die nur bei genauerer Erfassung der Verformungen und Spannungen zu vertreten sind.

Das (rheologische) Formänderungsverhalten wird quantitativ mittels der rheologischen Zustandsgleichungen beschrieben, d. h. teils durch die Formänderungen als Funktion der Spannungen, teils durch die Ableitungen dieser Größen nach der Zeit.

Das Buch gibt zunächst (Abschnitt A, auf 122 S.) die allgemeinen Grundlagen (theoretische Rheologie; physikalische und chemische Gesichtspunkte, sowie die Gesichtspunkte des Bauingenieurwesens). Abschnitt B (67 S.) behandelt die hauptsächlichsten elastischen Baustoffe (Metalle und Holz), Abschnitt C (195 S.) die Betone (Gips und Mörtel, frischen Beton, Stahlbeton, Straßenasphalt), Abschnitt D (108 S.) den Erdboden (Böden, Mauerwerk aus Erde, Lehmerzeugnisse) und Abschnitt E (20 S.) die sonstigen Stoffe.

Das vorliegende Buch enthält eine umfassende „Rheologie“ der Baustoffe, es wird dem Bauingenieur helfen, sich auf diesem Gebiet zu vertiefen. Die deutschen Leser seien zusätzlich auf die grundlegenden Zusammenfassungen in: Auerbach-Hort: Hdb. der physikal. u. techn. Mechanik, Band IV, 1. Hälfte, Leipzig 1931, aufmerksam gemacht (H. Fromm:

Grenzen des elastischen Verhaltens beanspruchter Stoffe, sowie Nachwirkung und Hysteresis). F. Schleicher, Dortmund.

Kämper/Hottinger/von Gonzenbach: Die Heiz- und Lüftungsanlagen in den verschiedenen Gebäudearten einschließlich Warmwasserversorgungs-, Befeuchtungs-, Entnebelungs- und Klimaanlage. Bearbeitet von Dr.-Ing. A. Kollmar, Reg.-Direktor beim Senator für Bau- und Wohnungswesen, Berlin, und Prof. Dr. W. Liese, Erster Direktor beim Bundesgesundheitsamt, Max von Pettenkofer-Institut, Berlin. 3. Aufl., VIII, 335 S., Gr.-8°, mit 113 Abb. u. 1 Tafel. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag 1954. Gzln. 34,50 DM.

Die hier behandelten Fragen gehören dem großen und heute besonders wichtigen Komplex der Bau- und Wohnungshygiene an. Nach Behandlung der physiologischen und hygienischen Grundtatsachen werden die technischen und wirtschaftlichen Grundlagen und die Bauelemente sowie Systeme der verschiedenen Heizungs- und Lüftungsanlagen neu dargestellt. An der Inhaltsgliederung ist neu und im Interesse der Vermeidung von Wiederholungen zu begrüßen, daß die Lüftungs-, Heizungs- und klimatechnischen Einrichtungen in die drei durch ihre Benützung sich kennzeichnenden Gebäudegruppen, wie die dauerbenützten, die nur tagsüber und die täglich oder zeitweilig nur mehrstündig benützten Gebäude, unterteilt wurden. In weiteren Kapiteln werden die Anlagen für Sonderzwecke sowie in Verkehrs- und Transportmitteln behandelt. Der Lüftung beim Bau und Betrieb von Straßentunnels, Stollen, Untergrundbahnen, erdbedeckten Leitungen und Behältern hätte etwas mehr Raum gewidmet werden dürfen. Außer den hinter den einzelnen Abschnitten gebrachten Schriftumsangaben erleichtern ein Schrifttums- und Sachverzeichnis die Benützung des Buches. So ist ein vom Verlag mit großer Sorgfalt ausgestattetes Buch entstanden, das nicht nur vom Heizungs- und Lüftungsingenieur, vom Arzt und Hygieniker mit Gewinn gelesen, sondern das alle am Bau von Aufenthaltsräumen von Menschen, von Arbeits- und Betriebsräumen u. a. interessierten Architekten, Ingenieure, Baubeamte und Bauherren ansprechen wird.

E. Marquardt, Stuttgart.

Tafelglas-Daten. Zahlen und Schaubilder über Fensterglas. Im Auftrag des Fachverbandes der Fensterglasindustrie, Frankfurt/M., bearbeitet von Dr.-Ing. E. h. Otto Völckers, München, unter Mitwirkung von Dr. K. Dinger, Gelsenkirchen; Dr. H. Jepsen-Marwedel, Gelsenkirchen; Dr. R. Ramsauer, Witten/Ruhr; Dr. R. Steiner, Frankfurt/M.; mit einem Geleitwort von Dr. Dr.-Ing. E. h. Dr. rer. nat. h. c. Otto Seeling. 57 S., Gr. DIN A 5, mit vielen Abb. u. Tab. Herausgegeben vom Fachverband der Fensterglasindustrie, Frankfurt/M., Ausgabe 1954.

Bauer, Dr.-Ing. Karlheinz: Die Veränderungen im Grundwasserstrom durch Staustufen und Wasserverluste aus dem Stauraum in weiten Tälern mit alluvialer Füllung. 79 S., Gr. 17,5 · 24,5 cm, mit vielen Abb. Erschienen im Eigenverlag, Schrobenehausen 1954. Geh. 15,— DM.

Verschiedenes.

Ruhrverband und Ruhrtalsperrenverein.

In einer Feierstunde am 16. März 1955 wurde der bisherige Geschäftsführer des Ruhrverbandes und des Ruhrtalsperrenvereins, Herr Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Max Prüß, der am 1. März 1955 in den Ruhestand getreten ist, verabschiedet, und der neue Geschäftsführer, Herr Bauassessor Koenig, als Baudirektor der Ruhrverbände eingeführt.

Der Name Prüß, der weit über Deutschland hinaus in der ganzen Fachwelt bekannt geworden ist, wird mit der Wasserwirtschaft des Reviers für immer verknüpft sein. Die Verdienste von P. wurden jetzt durch die Verleihung des Großen Verdienstkreuzes des Verdienstordens der Bundesrepub. ik neuerlich geehrt. [Man vgl. auch Der Bauingenieur 28 (1953) S. 106].

Sein Nachfolger, Herr Baudirektor Koenig, ist 1908 geboren, studierte von 1929 bis 1934 an der Technischen Hochschule Breslau Bauingenieurwesen, bestand 1938 die große Staatsprüfung für das Wasser-, Kultur- und Straßenbaufach. Kurz nach seiner Ernennung zum Bauassessor trat er in die Dienste des Ruhrverbandes und Ruhrtalsperrenvereins.

BAUWESEN-VERSICHERUNG

Ein unentbehrlicher Schutz in der Bauwirtschaft

Fordern Sie Beratung durch:



ALLIANZ VERSICHERUNGS-AKTIENGESELLSCHAFT
FRANKFURTER VERSICHERUNGS-AKTIENGESELLSCHAFT
BAYERISCHE VERSICHERUNGSBANK AKTIENGESELLSCHAFT



ARBEITEN AN DER WEHRANLAGE ZIFTA, AEGYPTEN



BETON- UND MONIERBAU A-G

DÜSSELDORF, HAUPTVERWALTUNG — NIEDERLASSUNGEN: AUGSBURG, BERLIN, BIELEFELD, BRAUNSCHWEIG, BREMEN, DORTMUND, DÜSSELDORF, ESSEN-RUHR, FRANKFURT/M., HAMBURG, HANNOVER, HEILBRONN, HILDESHEIM, KASSEL, KIEL, KÖLN, LUDWIGSHAFEN, MANNHEIM, MÜNCHEN, NÜRNBERG, OSNABRÜCK, STUTTGART

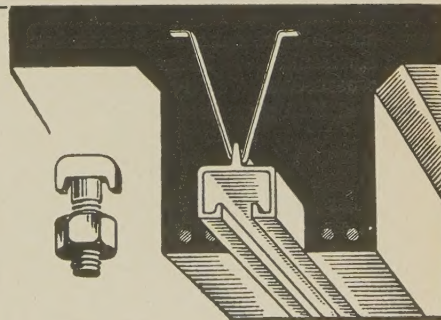


Berlin NW 87, Reuchlinstraße 10-17 Telefon: 392858
Techn. Büro Essen-Steele, Henglerstr. 47 Tel.: 51649

Beton-Spritzmaschinen, Beton-Injektoren, Beton-Pumpen, Verkauf - Vermietung, Ausführung v. Torkretierungen an Massivdecken u. Stahlbetonkonstruktionen

**DKG-
Anker-
schienen**

**Jordahl-
Schienen**



Deutsche Kahneisen Ges. West G.m.b.H.
Berlin-Wittenau, Wilhelmsruher Damm 231—245
Telefon: 493090 Telegr.-Adr.: Kahneisen
Lager: Troisdorf bei Köln und Berlin-Wittenau

Taschenbuch für Bauingenieure

Mit Beiträgen von

A. Agatz, Bremen · P. Böss, Karlsruhe · E. Czitary, Wien · F. Dischinger †, Berlin · W. Flügge, Palo Alto/Cal. (USA.) · G. Garbotz, Aachen · J. Göderitz, Braunschweig · O. Graf, Stuttgart · K. Hetzel, München · K. Hilfer, Münster/W. · E. Kohl, Braunschweig · E. Lackner, Bremen · G. Lehmann, Hannover · R. Lutz, Bremen · E. Marquardt, Stuttgart · E. Massute, Hannover · A. Mehmel, Darmstadt · W. Müller, Aachen · H. Petermann, Bremen · C. Pirath, Stuttgart · W. Rosemann, Gronau (Hann.) · L. Sautter, Stuttgart · F. Schleicher, Dortmund · J. Schlums, Hannover · W. Stoy, Braunschweig · F. Stüssi, Zürich · F. Tölke, Stuttgart · A. Vierling, Hannover · F. W. Walting †, Düsseldorf · P. Werkmeister, Dresden · H. P. Witt, Dortmund · H. Wittmann, Karlsruhe

Herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. **Ferdinand Schleicher**
Dortmund

Zweite völlig neu bearbeitete Auflage

Mit 2740 Abbildungen. I. Band: XX, 1087 Seiten. II. Band: XIX, 1159 Seiten 8°. 1955.

In zwei Bänden. Ganzleinen DM 56,—

Inhaltsübersicht: Erster Band: **Mathematik.** Von Professor Dr. phil. W. Rosemann, Gronau i. Hannover. — **Mechanik starrer Körper.** Von Professor Dr.-Ing. F. Tölke, Stuttgart. — **Festigkeitslehre und Elastizitätstheorie.** Von Dr.-Ing. W. Flügge, Palo Alto/USA., Californien. — **Baustatik.** Von Dr.-Ing. E. Kohl, o. Professor an der Technischen Hochschule Braunschweig. — **Baustoffe und ihre Eigenschaften.** Von Dr.-Ing. E. h. Otto Graf, o. Professor an der Technischen Hochschule Stuttgart. — **Baukonstruktionen des Hochbaus.** Von Regierungsbaumeister Leopold Sautter, Stuttgart. — **Holzbau.** Von Dr.-Ing. habil. W. Stoy, Professor an der Technischen Hochschule Braunschweig. — **Stahlbau.** Von Professor Dr.-Ing. Ferd. Schleicher, Dortmund. — **Stahlhochbau.** Von Dr.-Ing. H. P. Witt, Dortmund. — **Massivbau.** Von Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., Dr. techn. h. c. Franz Dischinger †, Berlin, ergänzt und überarbeitet von Dr.-Ing. Alfred Mehmel, o. Professor an der Technischen Hochschule Darmstadt. — **Ausgewählte Kapitel aus der Theorie des Brückenbaues.** Von Dr. sc. techn. F. Stüssi, o. Professor an der Eidgen. Technischen Hochschule Zürich. — **Stabilitätsfälle** (Grundlagen von Knicken, Kippen und Beulen). Von Prof. Dr.-Ing. Ferd. Schleicher, Dortmund. — **Schwingungen in der Bautechnik.** Von Prof. Dr.-Ing. F. W. Walting †, Düsseldorf. — **Sachverzeichnis.**
Zweiter Band: **Bodenmechanik.** Von Dr.-Ing. habil. H. Petermann, Bremen. — **Erdbau.** Von Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h. W. Müller und Dr.-Ing. G. Garbotz, o. Professoren an der Technischen Hochschule Aachen. — **Tunnel- und Stollenbau.** Von Dipl.-Ing. Karl Hetzel, o. Professor an der Technischen Hochschule München. — **Grundbau.** Von Professor Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h. A. Agatz, Präsident der Hafenbauverwaltung Bremen, und Dr.-Ing. E. Lackner, beratender Ingenieur, Prüfingenieur für Baustatik, Bremen. — **Verkehrswirtschaft.** Von Dr.-Ing., Dr. rer. pol. h. c., Dr.-Ing. E. h. Carl Pirath, o. Professor an der Technischen Hochschule Stuttgart. — **Flugbetrieb, Linienführung und Flughäfen des Luftverkehrs.** Von Dr.-Ing., Dr. rer. pol. h. c., Dr.-Ing. E. h. Carl Pirath, o. Professor an der Technischen Hochschule Stuttgart. — **Eisenbahnwesen.** Von Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h. W. Müller, o. Professor an der Technischen Hochschule Aachen. — **Oberbau und Gleisverbindungen.** Von Dr.-Ing. Erwin Massute, o. Professor an der Technischen Hochschule Hannover. — **Bahnen besonderer Art.** Von Dipl.-Ing. Dr. techn. E. Czitary, o. Professor an der Technischen Hochschule Wien. — **Grundlagen der Straßenverkehrsplanung.** Von Dr.-Ing. habil. Johannes Schlums, o. Professor an der Technischen Hochschule Hannover. — **Straßenbau und Straßenverkehrstechnik.** Von Dr.-Ing. habil. Johannes Schlums, Professor an der Technischen Hochschule Hannover. — **Technische Hydromechanik.** Von Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h. P. Böss, o. Professor an der Technischen Hochschule Karlsruhe. — **Wasserwirtschaft.** Von Dr.-Ing. H. Wittmann, o. Professor an der Technischen Hochschule Karlsruhe. — **Stauanlagen** (Wehre und Talsperren). Von Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h. P. Böss, o. Professor an der Technischen Hochschule Karlsruhe. — **Wasserkraftanlagen. Flußbau, Talsperren.** Von Professor Dr.-Ing. H. Wittmann, Karlsruhe. — **Binnenverkehrswasserbau.** Von Präsident Karl Hilfer, Münster/W. — **Seeverkehrswasserbau.** Von Professor Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h. A. Agatz, Präsident der Hafenbauverwaltung Bremen, und Hafenbaudirektor Dr.-Ing. R. Lutz, Bremen. — **Städtebau.** Von Stadtbaurat a. D. Dr.-Ing. J. Göderitz, o. Professor an der Technischen Hochschule Braunschweig. — **Vermessungskunde.** Unter Benutzung der Fassung der 1. Auflage von Professor Dr.-Ing. P. Werkmeister †, bearbeitet von Dr.-Ing. G. Lehmann, o. Professor an der Technischen Hochschule Hannover. — **Wasserversorgung und Entwässerung der Stadt- und Landgemeinden, landwirtschaftlicher Wasserbau.** Von Professor Dr.-Ing. Erwin Marquardt, Technische Hochschule Stuttgart. — **Maschinenkunde des Bauingenieurs** (einschl. Elektrotechnik). Von Dr.-Ing. habil. A. Vierling, o. Professor an der Technischen Hochschule Hannover. — **Sachverzeichnis.**

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Bautenschutz durch

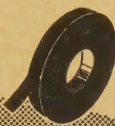
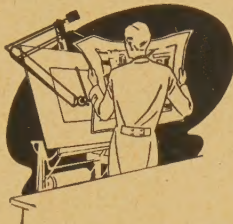
PROLAPIN dichtet Mörtel u. Beton	PROLAN Betonverflüssiger	FLUATOL Schalungsmittel	OSITEX hellfarb. Schutzanstrich	ORKIT schwarzer Schutzanstrich	LITHURIN dichtet Fassaden farblos
--	------------------------------------	-----------------------------------	---	--	---

HANS HAUENSCHILD K. & HAMBURG - WANDSBEK

In die Hand des Architekten

gehören Zeichnungen mit einem reißfesten Randschutz aus TESABORDE. Dadurch bleiben auch nach häufigem Gebrauch die Zeichnungen stets sauber und gut lesbar. TESABORDE wird in drei Spezialsorten und in vielen Farben geliefert.

In allen Büro- u. Zeichenbedarfsgeschäften



T 399

P. BEIERSDORF & CO. A.-G. HAMBURG

**KNAUF
GIPS**
verbürgt
Qualität

TRICOSAL
Bautenschutz

**Beton-
verflüssiger**
(festigkeitssteigernd)

ACTIVAL
GRUNAU


CHEMISCHE FABRIK GRUNAU A.G.
ILLERTISSEN/BAYERN

Einmal gebrauchte, sehr gut erhaltene

Stahlspondwände

in den Fabrikaten „Dortmunder - Unlen 3“, „Boesch 3“ und „Krupp KN III“ in den Längen von 3 bis 8 m laufend und preisgünstig abzugeben.

F. & A. JEHLE oHG., Rastatt-Hügelsheim/Baden

BETONVERFLÜSSIGER

Murasit
WE
wassereinsparend
festigkeitssteigernd

MISCHOL

Murasit
LP
luftporenbildend
erhöht die Frostbeständigkeit

DICHTUNGSMITTEL

Fluresit
D
für Sperrbeton
und wasserdichten Putz
als Pulver oder flüssig

Unsere Zusatzmittel
sind amtlich geprüft
und zugelassen.

Wir liefern ferner:

Schutzanstriche
Entschalungsmittel
Holzschutzmittel
Dachpflegemittel

ORGANA-BAUTENSCHUTZ
GmbH · Bochum-Gerthe

für Süddeutschland:
GEBRÜDER MAYER
Fabrik für chem. Baustoffe
Eßlingen/Neckar

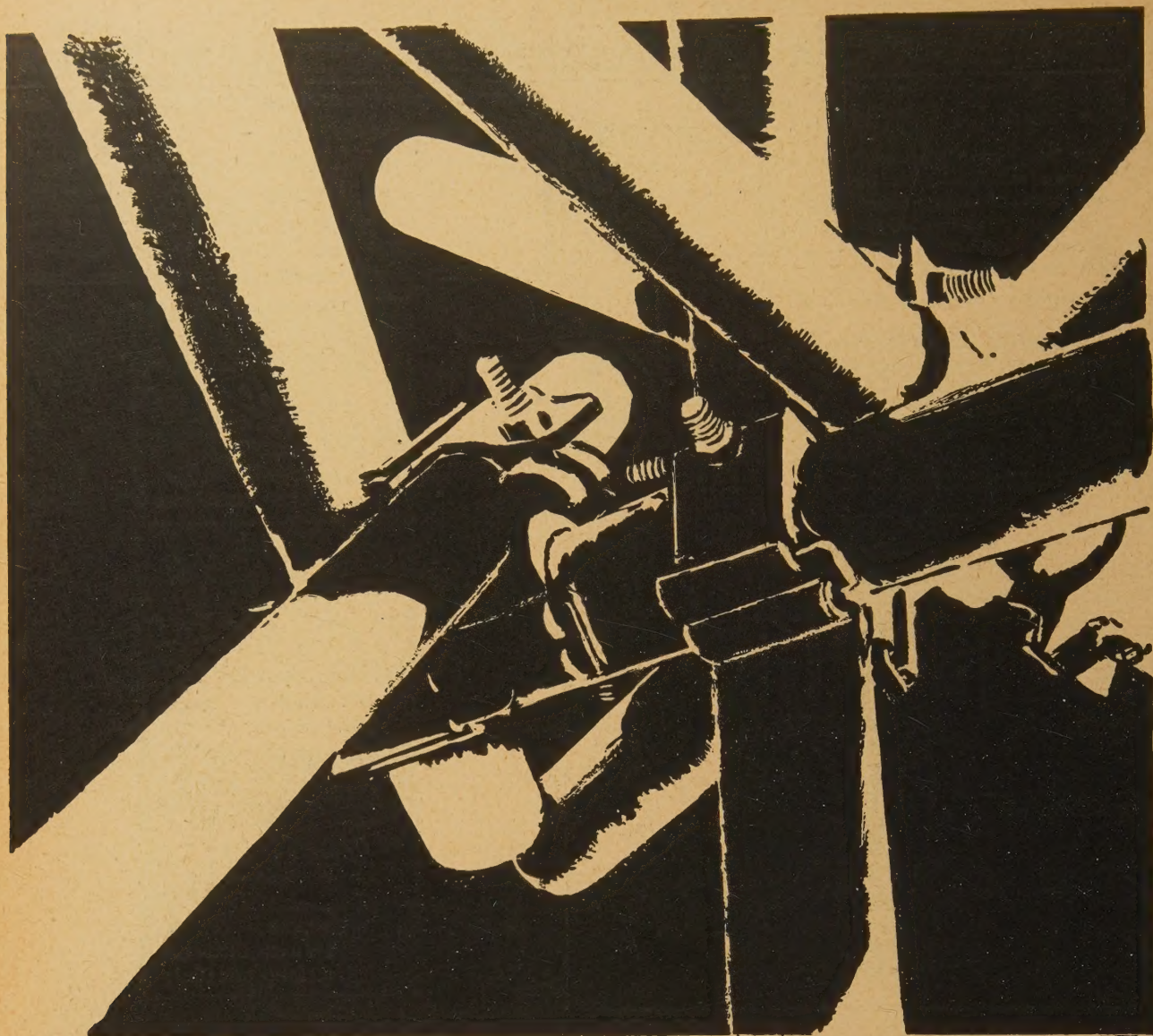
CERESIT

CERESIT-Sperrbeton-Bauten sind hochwiderstandsfähig und wasserdicht

• Verlangen Sie Druckschriften und unsere technische Beratung •

WUNNERSCHE BITUMEN-WERKE GMBH. UNNA





RÖHREN UND BLECHE

STAHLROHRGERÜSTE

sind ein Beispiel für die Verwendung von Mannesmannröhren. Hohe Festigkeit und Elastizität zeichnen diese Rohre aus. Da sie in allen Einzelheiten genormt sind, ist ihre Verwendung im Gerüstbau besonders rationell. Geringes Gewicht und gute Verbindung durch patentierte Kupplungen ermöglichen eine schnelle Montage. Leicht und sicher, schnell und wirtschaftlich baut man mit Mannesmann-Stahlrohrgerüsten.

201



MANNESMANN

VERKAUFGEMEINSCHAFT

DUSSELDORF · MANNESMANNHAUS

Diesem Heft liegen je ein Prospekt der Firmen Flottmann GmbH., Herne, Spezialmaschinenfabrik Futura, Wuppertal-Elberfeld, Paul Lechler, Apparatebau, Stuttgart-N, sowie ein Prospekt des Springer-Verlages, Berlin · Göttingen · Heidelberg, bei.

Für den Textteil verantwortlich: Professor Dr.-Ing. F. Schleicher, Dortmund; für den Anzeigenteil: Günter Holtz, Berlin W 85
 Druck: Deutsche Zentralsdruckerei A.-G., Berlin SW 11. Reg.-Nr. 115. — Springer-Verlag, Berlin · Göttingen · Heidelberg — Printed in Germany.